

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Științe Fundamentale și Inginerești



TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

Contribuții privind protecția antiperturbativă a sistemelor de comunicații de la bordul navelor militare

Doctorand,

Vasile Solcanu

Conducător științific,

Prof. univ. dr. habil. ing. Marian GĂICEANU

Seria I 3: Inginerie electrică nr. 7

GALAȚI

2024

IOSUD – UNIVERSITATEA „DUNĂREA DE JOS” DIN GALAȚI

Școala doctorală de Științe Fundamentale și Inginerești



TEZĂ DE DOCTORAT

Rezumat

Contribuții privind protecția antiperturbativă a sistemelor de comunicații de la bordul navelor militare

Doctorand

Vasile Solcanu

Președinte

Prof.univ.dr.ing. Gabriela RÂPEANU

Universitatea „Dunărea de Jos” din Galați

Conducător științific,

Prof. univ. dr. habil. ing. Marian GĂICEANU

Conducător științific în cotutelă

Referenți științifici

Prof. univ. dr. ing. Gheorghe SAMOILESCU
Academia Navală "Mircea cel Bătrân"
Prof. univ. dr. ing. Florin CIUPRINA
Universitatea Națională de Știință și Tehnologie
POLITEHNICA București
Prof. univ. dr. ing. Horia Leonard ANDREI
Universitatea Valahia din Târgoviște

Seria I 3: Inginerie electrică nr. 7

GALAȚI

2024

Seriile tezelor de doctorat susținute public în UDJG începând cu 1 octombrie 2013 sunt:

Domeniul fundamental ȘTIINȚE INGINEREȘTI

- Seria I 1: **Biotehnologii**
- Seria I 2: **Calculatoare și tehnologia informației**
- Seria I 3: **Inginerie electrică**
- Seria I 4: **Inginerie industrială**
- Seria I 5: **Ingineria materialelor**
- Seria I 6: **Inginerie mecanică**
- Seria I 7: **Ingineria produselor alimentare**
- Seria I 8: **Ingineria sistemelor**
- Seria I 9: **Inginerie și management în agricultură și dezvoltare rurală**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE SOCIALE

- Seria E 1: **Economie**
- Seria E 2: **Management**
- Seria E 3: **Marketing**
- Seria SSEF: **Știința sportului și educației fizice**
- Seria SJ: **Drept**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE UMANISTE

- Seria U 1: **Filologie- Engleză**
- Seria U 2: **Filologie- Română**
- Seria U 3: **Istorie**
- Seria U 4: **Filologie - Franceză**

Domeniul fundamental MATEMATICĂ ȘI ȘTIINȚE ALE NATURII

- Seria C: **Chimie**

Domeniul fundamental ȘTIINȚE BIOMEDICALE

- Seria M: **Medicină**
- Seria F: **Farmacie**

Mulțumiri

Adresez cele mai distinse mulțumiri Prof. univ. dr. habil. ing. Marian GĂICEANU pentru încrederea acordată, pentru sprijinul și ajutorul oferit în perioada stagiului doctoral.

Totodată mulțumesc mult și foștilor colegi, cadre didactice din Academia Navală cu care am colaborat în Programele naționale de cercetare CERES și CEEX, ocazie cu care am aprofundat problematica CEM de la bordul navelor maritime militare.

Adresez mulțumirile mele și membrilor comisiei de îndrumare, Prof. univ. dr. habil. ing. Bogdan Hnatiuc, Prof. univ. dr. ing. Nicolae Badea, Conf. univ. dr. ing. Ion Voncilă pentru înțelegerea sprijinul și sfaturile oferite.

De asemenea, doresc să mulțumesc și distinșilor membri ai comisiei de referenți științifici, Prof. univ. dr. ing. Gheorghe SAMOILESCU, Prof. univ. dr. ing. Florin CIUPRINA și Prof. univ. dr. ing. Horia Leonard ANDREI.

Aduc mulțumiri și finei mele Georgiana Roșu pentru modul în care am colaborat în conceperea și redactarea articolelor WOS/ISI pe care le-am publicat împreună dar și a celor care sunt în lucru și urmează să fie susținute / publicate precum și Domnului Prof. Valentin Inceu pentru încurajare, sfaturile oferite și sprijin în verificarea finală a tezei.

Nu în ultimul rând mulțumesc și membrilor familiei pentru înțelegerea de care au dat dovadă pe îndelungata perioadă a stagiului doctoral.

Solcanu Vasile - Contribuții privind protecția antiperturbativă a sistemelor de comunicații de la bordul navelor militare

Cuprins

Notății și abrevieri	7
Listă figuri	8
Listă tabele	9
I. Actualitatea temei	11
II. Conținutul lucrării	12
1. ISTORICUL ȘI EVOLUȚIA CEM ȘI A STANDARDELOR CEM MILITARE	13
2. DEFINIREA PROBLEMATICII CEM A SISTEMULUI DE COMUNICAȚII DE LA BORDUL NAVEI	15
3. ANALIZA SEMNALELOR CU IMPLICAȚII ÎN CEM A SISTEMELOR DE COMUNICAȚII	16
4. CONTRIBUȚII LA ANALIZA ȘI MODELAREA PRINCIPALELOR SURSE DE PERTURBAȚII DE LA BORDUL NAVEI	16
4.1 Contribuții la modelarea câmpurilor magnetice de dispersie create de mașinile electrice rotative de curent alternativ	16
4.2 Modelarea câmpului magnetic de dispersie creat de un transformator monofazat și a câmpului de scăpări creat de o bobină cu miez având construcția de tipul transformatorului monofazat în manta	17
4.3 Contribuții la modelarea globală a câmpului magnetic perturbator de dispersie într-un volum / compartiment dispus pe o navă	18
5. MODALITĂȚILE DE CUPLAJ ȘI PRINCIPALELE MĂSURI ANTIPERTURBATIVE	20
6. CARACTERISTICILE CEM ALE SISTEMELOR DE COMUNICAȚIE	20
7. CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA REZISTENȚEI LA PEM A SISTEMELOR DE COMUNICAȚII DE LA BNM	21
7.1 Contribuții la analiza efectelor IEM co-canal și pe canal adiacent asupra etajelor de intrare într-un RR. Analiza efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate	21
7.1.3. Analiza efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate folosind metoda descompunerii în serie Taylor (ST)	22
7.1.4 Analiza efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate folosind descompunerea în SF	23
7.1.6 Comparăție între acuratețea celor două procedee de analiză a efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate	23
7.1.7 Soluție propusă pentru diminuare a efectelor neliniare și a intrării în saturație a etajelor de amplificare dispuse la intrarea într-un RR	26
7.2 Contribuții la studiul interferențelor co-canal și al stabilității oscilatoarelor locale asupra calității prelucrării semnalelor recepționate	28

7.3 Contribuții la studiul rezistenței la perturbații a principalelor tipuri de sisteme de comunicații la bordul navelor militare utilizate în timpul misiunilor de căutare și salvare pe mare	30
7.4 Analiza stabilității la perturbații a sistemelor de comunicații digitale (cu modulație digitală)	34
7.4.1 Evaluarea stabilitatea sistemelor de comunicații digitale în medii cu zgomot gaussian prin determinarea probabilității de apariție a erorilor la detecția semnalelor	34
7.4.2 Stabilitatea sistemelor de comunicații digitale în medii cu zgomot sub formă de impulsuri	35
7.5 Stabilirea unui algoritm de calcul al marginilor de interferență pentru sistemele de radiocomunicații de la bordul navelor militare	36
8. REZULTATELE MĂSURĂTORILOR DE CÂMP ELECTROMAGNETIC EFECTUATE PE O NAVĂ MARITIMĂ MILITARĂ	37
9. CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PERSPECTIVE	38
10. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE	42
11. CONCLUZII GENERALE	43
12. LISTĂ LUCRĂRI PUBLICATE ȘI PREZENTATE	44
12.1 Publicații în reviste cotate Web of Science	44
12.2 Publicații în volume indexate Web of Science / ISI Proceedings	44
12.3 Publicații în reviste indexate (BDI)	45
12.3.1 Scopus	45
12.3.2 EBSCO, DOAJ, ProQuest, IndexCopernicus,	45
12.4 Participare în echipele proiectelor de cercetare-dezvoltare / granturilor de cercetare câștigate de conducătorii de doctorat din domeniul evaluat	45
12.5 Alte lucrări elaborate și/sau publicate în domeniile programului de cercetare al tezei de doctorat	46
Bibliografie selectivă	48

Notății și abrevieri

- A3X modulație în amplitudine cu purtătoare completă și ambele benzi laterale
ARF - amplificator de radiofrecvență (primul etaj de amplificare dintr-un radioreceptor)
ASK - Amplitude Shift Keying = modulația binară de amplitudine
ATBEC - amplificator cu tranzistor bipolar de tipul NPN de mică putere și medie frecvență în conexiune EC
BNM - bordul unei nave militare
BPSK - subcategorie/subclasă a semnalelor PSK în care pentru transmiterea unor date binare defazarea este egală cu π
c.a. - curent alternativ,
c.c. - curent continuu,
CEM = EMC - compatibilitate electromagnetică (electromagnetic compatibility)
COTS - produse off-the-shelf
 $C_{PS}(f_E)$ - funcția de transfer a căii de cuplare (cuplajul perturbator - susceptor)
DMP - demodulator de fază
DS - diagramă spectrală,
DSA - densitate spectrală de amplitudini,
DSP - Densitatea spectrală de putere,
EM - electromagnetic,
EMBS - Electromagnetic Battle Space - Spațiul de luptă electromagnetic
EMC - CEM - compatibilitate electromagnetică (electromagnetic compatibility),
EME - mediul electromagnetic operațional,
EMI - IEM- interferențe electromagnetice perturbatoare,
FDS - Funcția de densitate spectrală,
F1B - Modulație de frecvență cu informații digitale, fără sub-purtătoare pentru recepție automată,
FID - factorul de îmbunătățire al demodulatorului,
FNR - Forțele Navale Române
FSK - (Frequency-shift keying - Schimbare de frecvență) = este o metodă de transmitere a semnalelor digitale folosind o modulație discretă de frecvență,
G1B - modulație de fază utilizând un vârf de $\pm 1,1 + 0,1$ radiani, referitor la o purtătoare nemodulată
 $i_{CV}(t)$ - Componenta variabilă a curentul de colector
IEM - EMI - interferențe electromagnetice perturbatoare,
J2B - Banda laterala unica (BLU /SSB) cu informații digitale, cu utilizarea unei sub-purtătoare modulante, cu purtătoarea suprimată
J3E - Radiotelefonie cu bandă laterală unică
MA - modulație în amplitudine cu două benzi laterale și purtătoare întregă,
MA - BLU - modulația în amplitudine cu bandă laterală unică,
MA - PS - modulația în amplitudine cu purtătoare suprimată,
MF - modulație în frecvență,
ML - modulație liniară,
MP - modulație de fază,
MSK - CPFSK care folosește două frecvențe de semnalare între care diferența este redusă la minimul posibil,
MOS - componente semiconductoare de tipul metal-oxid-semiconductor,
PAE - Probabilitatea de apariție a erorilor în comunicațiile digitale,
PEM - Perturbație electromagnetică,
PSK - (Phase shift keying - Schimbare de fază) = este o metodă de transmitere a semnalelor digitale folosind o modulație discretă de fază,
QPSK - sistem de modulație digitală a semnalelor care utilizează două subpurtătoare modulate BPSK sincronizate,
RF - radiofrecvență,

RE	– emițător radio,
RR	- receptor radio,
SA	– spectru de amplitudini,
SCBNM	- sistem de comunicații de la bordul navelor militare,
SFA	- Seria Fourier armonică,
SFE	- seria Fourier exponențială,
SFT	- seria Fourier trigonometrică,
SNR	- signal-to-noise ratio = raport semnal – zgomot,
SOLAS	- International Convention for the Safety of Life at Sea
ST	- Serie Taylor
St.R.	- stație radio
TFD	- transformata Fourier directă,
TFI	- Transformata Fourier inversă,
TMC	- transformator monofazat cu înfășurările în cilindru dispuse pe o singură coloană
u.e.m.	– unde electromagnetice
UK	- Marea Britanie – United Kingdom

Listă figuri

- Figura 2.1 Modelul de interferență pentru analiza CEM
- Figura 4.1 a) Variația inducției funcție de distanța față de sursă pentru o mașină de c.a.
- Figura 4.2 a) Variația inducției magnetice (in μT) funcție de distanța (în cm) față de sursă pentru un TMC b) zoom pe o porțiune din a)
- Figura 4.3 Ilustrarea schematică a: a) modului de calcul al câmpului magnetic total generat de un set de două surse O_1 , respectiv O_2 în volumul unui compartiment de navă b) locului de dispunere a echipamente electrice și electronice și a dimensiunilor acestora
- Figura 4.4 Reprezentarea tridimensională a distribuției câmpului magnetic, pentru $n = 20$ puncte de discretizare
- Figura 4.5 Distribuția câmpului magnetic rezultată pentru pentru $n = 20$ puncte de discretizare în: a) planul orizontal, b) în planul vertical
- Figura 7.1 Semnalul obținut la ieșirea unui amplificator în urma însumării acestuia cu mai multe semnale armonice cu amplitudini de valoare foarte mică în comparație cu amplitudinea semnalului util
- Figura 7.2 Modul de variație al coeficienților descompunerii în ST și serie de ST în funcție de de mărimea semnalului de intrare ($r_u = U_0/U_T$)
- Figura 7.3 Forma semnalului la ieșire prin luarea în considerare a primilor termeni din descompunere în ST, respectiv descompunere în SF
- Figura 7.4 Compensarea neliniarității prin introducerea unei reacții negative
- Figura 7.5 Schema concepută în Matlab-Simulink pentru simularea reducerii neliniarităților etajelor de radiofrecvență prin introducerea unei reacții bazate pe seria de puteri inversă
- Figura 7.6 Semnalele obținute în urma efectuării simulării în Matlab-Simulink pe baza schemei din figura 7.10
- Figura 7.7 Schema concepută în Matlab-Simulink pentru studiul interferențelor co-canal
- Figura 7.8 a) FDS pentru semnalul util și cel perturbator, b) semnal original, c) semnal recepționat cu refacerea purtătoarei folosind un semnal în fază cu purtătoarea folosită la emisie pentru $RSZ = 24,4$ dB
- Figura 7.9 a) FDS pentru semnalul util și cel perturbator, b) semnal original, c) semnal recepționat cu purtătoarea refăcută local defazată cu $\pi/2$ față de cea folosită la emisie. $RSZ = 11,3$ (10,53 dB)

- Figura 7.10 a) FDS pentru semnalul util și cel perturbator, b) semnal original, c) semnal recepționat cu purtătoarea refăcută local defazată cu $\pi/2$ față de cea folosită la emisie. RSZ = 7,23 (8,59 dB)
- Figura 7.11 a) FDS pentru semnalul util și cel perturbator, b) semnal original, c) semnal recepționat cu purtătoarea refăcută local defazată cu $\pi/3$ față de cea folosită la emisie. RSZ = 11,57 (10,63 dB)
- Figura 7.12 Reprezentate grafică a FID pentru diferite valori ale puterii semnalului de modulație normalizat: a) $\overline{f^2(t)} = 0,3$; b) $\overline{f^2(t)} = 0,5$; c) $\overline{f^2(t)} = 0,8$ și d) $\overline{f^2(t)} = 1$
- Figura 7.13 Diagrama schematică utilizată în software-ul Matlab-Simulink pentru verificarea stabilității la perturbații a principalelor clase de emisii utilizate în comunicațiile de căutare și salvare pe mare.
- Figura 7.14 Rezultatele simulării ca urmare a folosirii schemei din figura 7.13
- Figura 8.1 Ilustrarea navei și a punctelor de măsurare

Listă tabele

- Tabelul 7.1 Situație comparativă între rezultatele obținute prin cele două metode adoptate și concluziile formulate în literatura tehnică de specialitate și referințele bibliografice

I. Actualitatea temei

Concentrarea deosebit de mare de mijloace tehnice într-un spațiu limitat așa cum este cel de la bordul unei nave militare, duce inevitabil la suprasaturarea spectrului electromagnetic și la apariția interferențelor electromagnetice perturbatoare (IEM). În aceste condiții, o parte din aparatura instalată la bordul acestor nave este în același timp atât sursa cât și victima IEM [1], [2], [3], [4], [5].

Datorită ritmului tot mai alert de apariție și implementare a noilor generații de tehnologie militară și civilă, întâlnim în dotarea flotelor militare nave care încă nu si-au încheiat durata de viață dar care sunt dotate deja cu aparatură și sisteme de senzori și armament depășite în punct de vedere tehnologic. Mai mult, pe durata de viață a unei nave apar mai multe generații de tehnologie, apărând frecvent necesitatea introducerii acestor nave în programe de modernizare. Astfel, întâlnim pe aceeași navă sisteme din generații diferite, de la producători diferiți și din țări diferite care trebuie să funcționeze coerent fără să se afecteze reciproc. Aceste nave sunt nevoite să participe la misiuni de luptă, salvare și menținerea păcii cu nave din ultima generație, misiuni de al căror succes depinde viața a foarte multor oameni. În acest sens, navele militare ale țărilor UE și NATO, printre care și cele ale Forțelor Navale Române (FNR) desfășoară activități militare comune de descurajare din zonele "fierbinți" din estul Mării Mediteraneene și din Marea Neagră. Pentru a combate contrabanda cu emigranți dar și pentru a le salva viața în cazul în care ambarcațiunile acestora se scufundă, UE are mai multe operațiuni desfășurate în Marea Mediterană: operațiunea Themis pentru Mediterana Centrală, operațiunea Poseidon pentru Mediterana de Est, Operațiunea Indalo pentru Marea Mediterană de Vest. Datorită acestor eforturi, din 2015 au fost salvate peste 528.653 de vieți [6], [7].

Costurile necesare producției, întreținerii și modernizării navelor militare ridică probleme tuturor țărilor cu astfel de flote indiferent de puterea lor politică și economică inclusiv SUA, țara cu cea mai dezvoltată economie și cu cea mai mare flotă maritimă militară. Astfel, pe 31.10.2024, șeful Operațiunilor Navale a SUA, Amiralul Lisa Franchetti, a anunțat că, din cauză constrângerilor bugetare, s-a luat decizia de a prelungi durata de viață a 12 distrugătoare din clasa Arleigh Burke în condițiile în care și în 2023 a fost luată decizia de a se prelungi durata de viață pentru alte cinci distrugătoare din aceeași clasă din aceleași considerente economice [8], [9].

Mai nou, în recentul conflict armat dintre Ucraina și Federația Rusă, pierderea unei nave a proaspăt ieșită dintr-un proces de modernizare ce a avut ca scop tocmai extinderea duratei de viață / exploatare, arată încă o dată importanța deosebită pe care o are funcționarea întregii aparaturi la parametri optimi. Pentru obținerea acestui lucru este imperios necesar ca principiile, măsurile și normele de compatibilitate electromagnetică (CEM) să fie cunoscute și respectate de către toți factorii implicați în acest proces [10].

Problematika CEM a sistemelor de comunicații de la bordul navelor militare (SCBNM) este una extrem de vastă, complexă și de actualitate cu atât mai mult cu cât evoluția tehnologică actuală este fără precedent în istoria omenirii. Aceste sisteme sunt caracterizate și de o mare diversitate a aparaturii tehnice utilizate și a modalităților de realizare a comunicațiilor atât prin fir, fibră optică, hidroacustic, radio prin undă directă, cu ionosfera sau prin satelit. Caracteristicile enumerate fac deosebit de dificilă realizarea unei compatibilități atât între echipamentele fizice utilizate, interconectarea acestora cât și între structurile organizatorice și de comandă. Totuși, conducerea unitară a forțelor navale precum și colaborarea acestora cu alte structuri și forțe nu se poate realiza fără asigurarea unor comunicații sigure și de calitate.

Devine evidentă importanța deosebită pe care o are studierea și înțelegerea CEM, emiterea de standarde și proceduri care să reglementeze cât mai clar acest domeniu precum și importanța pregătirii personalului care deservește tehnica de pe navă cât și cel al firmelor și șantierelor navale care întrețin, repară sau modernizează aceste nave.

Având în vedere cele prezentate anterior precum și particularitățile navelor din dotarea FNR, nave vechi care intră periodic în programe de reparații - modernizare, unul dintre *principalele obiectivele tezei* este acela de a *identifica soluții adecvate de compatibilizare a sistemului de comunicații de la bordul navei cu costuri minime, în condițiile coexistenței în același loc limitat a unui număr foarte mare de sisteme electrice și electronice din generații diferite, fabricate după standarde*

militare / civile diferite, dintre care o bună parte au fost deja înlocuite / update. Din acest obiectiv principal rezultă și celelalte obiective cu ajutorul cărora se poate realiza obiectivul principal și anume: identificarea principalelor surse de perturbații / amenințări de la bordul navei, analiza și modelarea acestora, a tipului de semnale pe care le generează, a modalităților de cuplare și a efectelor acestora asupra SCBNM / etajelor constructive ale radioemițătoarelor (RE) și radioreceptoarelor (RE). Un alt obiectiv al tezei îl constituie identificarea sistemelor de comunicații care sunt mai rezistente la perturbații prin prisma modulațiilor analogice și digitale pe care le folosesc.

II. Conținutul lucrării

În capitolul 1 am efectuat o cercetare asupra standardelor militare și civile de CEM în vigoare și am prezentat și o evoluție a acestora. Standardele prezentate sunt cele adoptate de structurile din care România face parte: NATO și UE precum și Marea Britanie deoarece FNR are în dotare patru nave achiziționate din această țară. De asemenea, pe baza documentației studiate am prezentat problemele generate de cost în construcția, dotarea și modernizarea navelor militare, problemă cu care se confruntă și FNR. Pentru a sublinia importanța adoptării măsurilor adecvate de CEM la bordul navelor și aeronavelor, din bibliografia studiată am prezentat și câteva accidente / dezastre generate tocmai de neadoptarea și nerespectarea acestor măsuri.

În prima parte a capitolului 2, am făcut o prezentare / definire a termenilor de CEM preluată atât în literatura de specialitate cât și din actele normative în vigoare. De altfel, pe întregul cuprins al tezei, termenii utilizați sunt prezentați și prin definirea acestora și impunerea limitelor în actele normative și standardele în vigoare. Tot în acest capitol am prezentat relația de bază CEM, fundamentarea mecanismelor de cuplaj ale IEM, o analiză detaliată a surselor de IEM de la bordul navei și a mecanismelor de cuplare. De asemenea, am prezentat principiile organizării comunicațiilor de distress și a celor militare și componența sistemelor ce le deservește.

Capitolul 3 prezintă o analiză detaliată a principalelor semnale întâlnite în mediul electromagnetic (EME) de la bordul navei utilizând ca aparat matematic seriile și transformata Fourier. De asemenea, sunt prezentate atât semnalele folosite în comunicațiile analogice cât și în cele digitale. Relațiile matematice sunt însoțite de figuri atât în domeniul timp cât și în domeniul frecvență obținute în Mathcad și Matlab-Simulink. De asemenea am prezentat și schemele pe care le-am conceput în mediul de simulare Matlab-Simulink pentru obținerea acestor figuri.

În capitolul 4 am analizat și modelat câmpurile magnetice de dispersie create de mașinile electrice rotative de curent alternativ, de transformatoarele monofazate și câmpurile magnetice și electromagnetice generate de conductoarele parcurse de curent electric. Valorile de câmp obținute prin calcul, pe baza relațiilor de calcul propuse sunt validate prin rezultatele unor măsurători de câmp. De asemenea, am propus un algoritm pentru modelarea globală a câmpului magnetic perturbator de dispersie într-un compartiment dispus pe o navă și un algoritm pentru trasarea unei hărți a intensității câmpurilor magnetice de dispersie. Rezultatele prezentate prin calcule sunt obținute plecând de valorile de câmp obținute din măsurători. Tot în acest capitol am analizat amenințările reprezentate de interferențele electromagnetice produse intenționat (IEMI) din care face parte și impulsul electromagnetic nuclear. Simularea efectelor acestora asupra unui cablu coaxial este efectuată cu ajutorul programului de simulare Ansys HFSS.

În capitolul 5 am prezentat modalitățile de cuplaj a IEM precum și principalele măsuri antiperturbative. Am acordat o atenție mai mare IEM transmise prin conductoare precum și efectele pe care le are ecranarea acestora asupra transmiterii IEM.

Capitolul 6 cuprinde descrierea principalelor caracteristici CEM ale RE și ale RR atât pe baza descrierilor din literatura de specialitate cât și pe baza normativelor în vigoare. Tot în acest capitol am prezentat distorsiunile introduse de canalul de comunicare.

Capitolul 7 este unul deosebit de amplu în care, cu ajutorul graficelor trasate în Mathcad, pe baza relațiilor matematice precum și cu ajutorul simulărilor efectuate în Matlab-Simulink, am efectuat studiul și analiza efectelor IEM co-canal și pe canal adiacent asupra etajelor de intrare într-un RR, analiza efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate, studiul interferențelor co-canal și al stabilității oscilatoarelor locale asupra calității

prelucrării semnalelor recepționate, studiul rezistenței la perturbații a principalelor tipuri de sisteme de comunicații la bordul navelor militare utilizate în timpul misiunilor de căutare și salvare pe mare și analiza stabilității la perturbații a sistemelor de comunicații digitale (cu modulație digitală). Tot în acest capitol este prezentat un algoritm de calcul al marginilor de interferență pentru sistemele de radiocomunicații de la bordul navelor militare.

În capitolul 8 sunt prezentate rezultatele măsurătorilor de câmp electromagnetic efectuate pe o navă maritimă militară în care am propus introducerea unui nou criteriu / mărimi pentru determinarea eficienței unui ecran.

În capitolul 9 sunt prezentate principalele contribuții și direcții de dezvoltare.

Capitolul 10 cuprinde lista de lucrări prezentate și publicate de către autorul tezei.

1. ISTORICUL ȘI EVOLUȚIA CEM ȘI A STANDARDELOR CEM MILITARE

Domeniul compatibilității electromagnetice este strâns legat de domeniul transmisiei informațiilor, în special al celor militare. Astfel, primele transmisii telegrafice, efectuate în jurul anului 1850, s-au confruntat deja cu probleme de diafonie. De asemenea, la utilizarea „telegrafului fără fir”, adică a comunicațiilor radio de către Marina Americană în anul 1899, s-a constatat că informațiile primite erau neinteligibile atunci când mai multe emițătoare radio lucrau pe aceeași frecvență în același timp. Această problemă nou apărută a fost denumită *interferență de radiofrecvență* [11], [12].

Elaborarea și adoptarea standardelor CEM a fost accelerată și de unele evenimente cu caracter deosebit de tragic. Astfel, unul dintre cele mai mari accidente CEM din istorie a fost incendiul de la bordul portavionului *Foresstal* din 29 iulie 1967. *Cauza*: două trasee de cabluri / feederi netorsadate și paralele de la bordul unui avion de luptă; un traseu destinat pentru semnalul de lansare al rachetelor, celălalt destinat semnalului de pornire al motorului cu reacție. *Efect*: la darea semnalului de pornire a motorului, curenții induși în traseul cablului învecinat duc la lansarea accidentală a unei rachete care lovește un alt aparat de zbor ce se afla pe puntea portavionului. Urmează o reacție în lanț și în mai puțin de 30 secunde toată puntea portavionului se afla în flăcări. Datorită temperaturilor deosebit de mari puntea principală se topește iar incendiul se propagă și sub puntea de zbor. Echipajul portavionului *Forrestal* a stins focul, cu asistența altor nave mari din zonă, după mai mult de 24 de ore. Pierderile cauzate de acest incident au fost: 134 de marinari uciși de incendiu și 161 răniți, 21 de aeronave distruse, iar reparațiile navei au costat aproximativ 72 de milioane de dolari (echivalentul a peste 528 de milioane de dolari în 2017) și au durat aproximativ doi ani [11], [13], [14], [15].

Așa cum pentru SUA evenimentul cu rol catalizator a fost incendiul de la bordul portavionului *US Ferrestal*, pentru Marea Britanie (UK) evenimentul cu rol catalizator a fost războiul din insulele *Malvine / Falkland* care a avut loc în 1982. deoarece sistemele de senzori ale navelor de luptă perturbau / bruiiau sistemul de comunicații prin satelit, soluția operațională aleasă a fost managementul timpului, adică, pe perioada folosirii comunicării prin satelit, au fost oprite majoritatea sistemelor de senzori ale navei. Efect: distrugătorul *HMS Sheffield* aparținând marinei regale a UK nu a detectat la timp rachetele *Exocet* lansate asupra sa de către un avion argentinian, atac efectuat tocmai în scurta perioadă de timp în care aveau loc comunicațiile prin satelit ale navei cu eșaloanele superioare aflate în UK. Ca urmare a atacului, din cei 281 de membri ai echipajului au murit 20 de oameni iar alți 26 au fost răniți; doar un singur cadavru a fost recuperat. Incendiul provocat la bordul a dus în cele din urmă la pierderea navei. Acest război a evidențiat atât pentru UK cât și pentru țările care au analizat conflictul, importanța înțelegerii, adoptării și respectării principiilor CEM pentru obținerea securității electromagnetice a navei [16], [17], [18], [19].

Faptul că radarele de mare putere de la bordul unei nave pot cauza interferențe la aparatura de comunicații via satelit situate pe alte nave, interferențe ce pot duce până la întreruperea completă a comunicației este specificat și în MIL STD 464 D. Aceste interferențe pot dezactiva terminalul satelit timp de până la 15 minute, adică timpul necesar pentru a restabili legătura prin satelit. Pentru a evita problema, sunt necesare distanțe de până la 20 de mile marine între nave [20].

Merită amintit și un incident din Australia care a avut loc în iunie 2000 și în care nava vânător de mine Huon, având corp nemetalic (plastic armat cu fibre), a suferit interferențe electromagnetice grave (EMI) la o serie dintre sistemele sale de la bord, cauzate de emisiile radar provenite de la fregata Anzac, navă cu care naviga în formație către Singapore. Printre altele, acest lucru a dus și la pierderea controlului direcției, nava Huon devenind neguvernabilă efectuând o trecere deosebit de periculoasă la mică distanță înaintea navei Anzac. Acest incident a avut loc chiar dacă înainte de darea în folosință a navei Huon, aceasta a fost testată la EMI inclusiv prin operarea în apropiere de o altă navă militară, fregata Sydney. Acest incident ridică întrebări cu privire la nivelul de complexitate al testărilor la EMI al noilor platforme și echipamente care urmează să intre în dotarea flotelor militare [21].

În baza unui program elaborat de către armata SUA în 1967 au rezultat standardele militare MIL-STD-461 (cerințe), MIL-STD-462 (metodologie) și MIL-STD-463 (definiții și acronime). După revizuire, în 1968 a fost emis MIL-STD-461A. Revizuirile ulterioare au fost desemnate B, C și D și au avut loc până în 1993. MIL-STD-463 a fost retras după 1990 în locul lui fiind folosit ANSI C63.14. În 1999, standardele MIL-STD-461D și MIL-STD-462D au fost îmbinate într-un singur document, MIL-STD-461E. În decembrie 2008 s-a adoptat versiunea MIL-STD-461F iar în 2015 versiunea G [22], [11], [23]. Cele mai utilizate standarde sunt MIL-STD-461 (subsisteme și echipamente) și MIL-STD-464 (sisteme) și se aplică instalațiilor la sol, la bord și în aer.

În plus, față de standardele EMC, sunt disponibile manualele MIL-HDBK care oferă proceduri, evaluări EMC și îndrumări de proiectare pentru aplicații militare specifice. Acestea oferă doar îndrumări și nu trebuie interpretate ca cerințe. În general, aceste manuale sunt scrise în mod clar și cu explicații ale principiilor fizice care stau la baza acestora cu scopul de a oferi asistență proiectanților de echipamente sau sisteme.

În cele din urmă, există specificații documentare foarte detaliate asociate standardelor militare EMC. În unele cazuri, documentația necesară este descrisă în Descreri ale elementelor de date separate (*DIDs - Data Item Description*) sau Proceduri operaționale de testare (*TOPs - Test Operational Procedures*). Aceste descrieri ale elementelor de date cuprind procedurile de proiectare EMC, procedurile de testare și verificare precum și rapoartele de testare.

În țările membre ale NATO este utilizat termenul "STANAG" care înseamnă "Acordul de standardizare". Atât considerentele de mediu cât și cele de CEM sunt acoperite de *STANAG 4370*. El se referă la mai multe documente separate denumite AECPT – "*Allied Environmental Conditions and Test Publication*" (*Document privind condiții de mediu și de testare al aliaților*). Partea de CEM cuprinde referințele *STANAG 4370*:

- *AECTP 250 – „Condiții electrice și electromagnetice și de mediu”* (ultima versiune publicată în 2014),

- *AECTP 500 – „Teste și verificări ale efectelor electromagnetice asupra mediului”* (ultima versiune publicată în 2016)

AECTP-500 se inspiră pentru testele și metodele sale atât din MIL-STD-461, cât și din DefStan 59-411. Testele EMC individuale în AECTP-500 sunt desemnate NCS-, NCE-, NRE-, NRS- unde "N" înseamnă "NATO".

Cu toate că în domeniul militar au fost adoptate standarde foarte clare în domeniul CEM acest lucru nu s-a întâmplat suficient de repede și în domeniul civil. Astfel, în 1996, o aeronava Boeing 747-100 care efectua zborul TWA 800 New York – Roma cu esca la Paris a explodat deasupra oceanului la aproximativ 12 minute după decolare. După o îndelungată și costisitoare anchetă care a implicat salvarea și reconstruirea unor porțiuni importante ale aeronavei, s-a ajuns la concluzia că cea mai probabilă cauză a exploziei a fost o scânteie în rezervorul de combustibil din aripa centrală care a aprins amestecul aer-combustibil. Această scânteie ar fi fost rezultatul direct al unei tensiuni mari tranzitorii pe o linie de alimentare datorată unei descărcări electrostatice sau unui scurtcircuit. Toate cele 230 de persoane aflate la bordul aeronavei au murit. Costul estimat al aeronavei: 11 mil \$.

Una dintre cerințele / recomandările comisiei de anchetă prevede pentru toate aeronavele Boeing 747 ecranarea firelor sistemului de indicare a cantității de combustibil precum și separarea fizică cât mai mult posibilă a acestora față de cablurile de alimentare. Aceasta cerință este aplicabilă și pentru celelalte aeronave la care firele sistemului de indicare a cantității de combustibil și cele de

alimentare au trasee comune (recomandarea A-98-38). De asemenea, o altă cerință, valabilă pentru toate aeronavele civile, prevede introducerea de sisteme de protecție la supratensiune pentru firele sistemului de indicare a nivelului de combustibil (recomandarea A-98-39). [24], [25]. Ambele cerințe sunt din domeniul CEM.

Din analiza pe care am efectuat-o reiese clar că în domeniul standardizării CEM, standardele dezvoltate de către SUA și NATO sunt mult mai clare și au o evoluție mult mai coerentă decât cele dezvoltate de către țările membre UE.

O altă concluzie care se poate desprinde este că producerea atât a navelor civile cât, mai ales a celor militare a ajuns la niște costuri care ridică probleme chiar și țărilor puternic dezvoltate economic. Variantele viabile de reducere a acestor costuri fac inevitabil apel la modalitățile de obținere și implementare a soluțiilor CEM la bordul navelor. Una dintre soluții, propunând axarea mai mult pe diminuarea căilor de cuplaj, folosind cât mai mult particularitățile constructive ale fiecărei nave în parte și mai puțin pe încadrarea riguroasă în standardele de emisie și imunitate la perturbații (abordarea bazată pe risc). De altfel, o asemenea abordare au avut și cercetătorii români care au efectuat cercetări la bordul Fregatei Mărășești în cadrul Programului National CERES: *"Mijloace de protecție complexă la compatibilitatea electromagnetică, pe nave militare"* în perioada 2004 – 2006.

Importanța abordării unitare a mediului electromagnetic reiese și din Nota de politică scrisă de subsecretarul marinei Thomas Modly din 22 oct 2018 din care reiese ca Navy declară că mediul spectrului electromagnetic (EMS) ca un spațiu de luptă pentru război, privit în mod egal cu marea, solul, aerul, spațiul și Cyberspațiul modificând și politica Departamentului Marinei (DON) în acest sens.

2. DEFINIREA PROBLEMATICII CEM A SISTEMULUI DE COMUNICAȚII DE LA BORDUL NAVEI

Compatibilitatea electromagnetică (CEM) poate fi definită în linii mari ca o stare care există atunci când toate dispozitivele dintr-un sistem sunt capabile să funcționeze fără erori în mediul lor electromagnetic preconizat [69].

În conformitate cu [26], CEM reprezintă "capacitatea echipamentelor sau sistemelor electronice de a funcționa într-un mediu dat la nivelul sau performanța proiectată fără degradare din cauza interferențelor electromagnetice", iar în [27] CEM este definită ca fiind „capacitatea unui sistem, echipament sau dispozitiv care utilizează spectrul electromagnetic de a funcționa în *mediul electromagnetic* operațional (EME) prevăzut fără a se confrunta cu degradarea neintenționată a funcționării datorită sistemelor amplasate în comun (co-localizate) sau fără a cauza degradarea neintenționată a acestora”.

Cerința de bază în CEM este de a planifica, specifica și proiecta sistemele electrice și electronice astfel încât acestea să poată fi instalate în EME fără a crea sau a fi susceptibile de interferențe [28], [29], [30], [31], [32].

În obținerea EMC a sistemelor și dispozitivelor este necesară efectuarea unei analize EMC în care trebuie analizate posibilele surse de perturbații, posibilele victime sau susceptori precum și mecanismele sau căile de cuplaj. În figura 2.1 este ilustrat analiza EMC dintre o singură sursă de perturbații (emitaător) și un singur dispozitiv sensibil (receptor) [33].

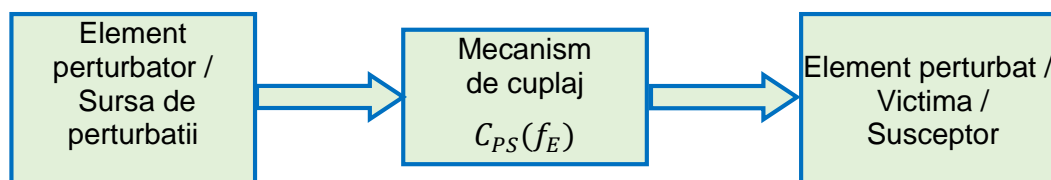


Figura 2.1 Modelul de interferență pentru analiza CEM

În analiza EMC a sistemelor (inclusiv a sistemelor de comunicații de la bordul navelor militare) este necesar:

1. să se identifice și să se descrie **toate** sursele potențiale de semnale de interferență și nivelurile de putere ale posibilelor perturbații generate/emise, adică determinarea cât mai precisă a EME de funcționare a sistemului analizat;

2. să se determine și să se descrie mecanismul prin care aceste perturbații ajung (cuplează) de la surse la dispozitivele potențial susceptibile;

3. să se descrie pragul de susceptibilitate și mecanismul de degradare a performanței pentru dispozitivele susceptibile.

Astfel, pentru încadrarea corectă a surselor și a modalităților de cuplaj, în subcapitolul 2.3 este prezentată fundamentarea mecanismelor de cuplaj a IEM din care rezultă că în orice analiză CEM necesară identificării unor soluții antiperturbative, este necesar ca mai întâi să se efectueze încadrarea perturbațiilor în una dintre categoriile analizate: *perturbații de câmp apropiat sau perturbații de câmp îndepărtat*. Acest lucru poate fi privit ca un *principiu antiperturbativ fundamental în CEM* deoarece pentru fiecare zonă mecanismele de cuplaj și, implicit măsurile antiperturbative diferă.

În urma analizării surselor de perturbații de la bordul navelor militare acestora, a puterii și frecvențelor de lucru precum și a modalităților de cuplaj, au rezultat 28 de modalități de apariție și de cuplaj a semnalelor perturbatoare la potențialele dispozitive susceptoare / victime.

3. ANALIZA SEMNALELOR CU IMPLICAȚII ÎN CEM A SISTEMELOR DE COMUNICAȚII

O analiză amănunțită a stabilității la interferențe a sistemului de comunicații de la bordul navelor militare trebuie să țină cont și de forma multitudinii de semnale care caracterizează mediul electromagnetic (EME) precum și de tipul de modulație folosit pentru transmiterea informației utile. În analiza EMC a semnalelor, se folosește atât reprezentarea lor în funcție de timp (forma de undă), cât și în funcție de frecvență (DS sau spectrul). Cele două reprezentări caracterizează în mod unic semnalul. Trecerea de la forma de undă la DS a unui semnal periodic se face folosind seria Fourier trigonometrică (SFT), seria Fourier armonică (SFA) sau seria Fourier exponențială (SFE) și pentru semnale neperiodice folosind transformata Fourier directă (TFD). Pe baza acestor aparate matematice în acest capitol am prezentat și analizat principalele semnale întâlnite în mediul electromagnetic de la bordul unei nave militare, o atenție deosebită fiind acordată semnalele folosite în comunicațiile analogice și în cele digitale. Relațiile matematice sunt însoțite de figuri atât în domeniul timp cât și în domeniul frecvență obținute în Mathcad și Matlab-Simulink. De asemenea am prezentat și schemele pe care le-am conceput în mediul de simulare Matlab-Simulink pentru obținerea acestor figuri.

4. CONTRIBUȚII LA ANALIZA ȘI MODELAREA PRINCIPALELOR SURSE DE PERTURBAȚII DE LA BORDUL NAVEI

4.1 Contribuții la modelarea câmpurilor magnetice de dispersie create de mașinile electrice rotative de curent alternativ

Datorită complexității și diversității de soluții constructive și principii de funcționare a mașinilor electrice, calculul analitic al câmpului magnetic de dispersie generat de acestea este deosebit de laborios. Din acest motiv se apelează și la relații empirice obținute în urma prelucrării măsurătorilor efective.

În vederea verificării relațiilor prezentate în teză am efectuat măsurători asupra unui motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit având caracteristici: $P_n=7kW$; $U_n=380V$; $n_n=1460$ r.p.m.; $\cos\varphi_n=0.84$; $f_n=50Hz$. În figurile 4.2 a), b) și c) sunt reprezentate cu linie roșie continuă variația inducției magnetice B în funcție de distanță trasată pe baza valorilor obținute prin măsurători și cu linie punctată albastră valorile calculate cu: a) relația (4.2) din teză pentru $K=445$, b) relația (4.3) din

teză și c) cu relația (4.2) pentru o valoare corectată a coeficientului $K=1800$. Pentru interpolare s-a folosit funcția MATHCAD „*spline*” care realizează o interpolare **spline cubic** cu condiții de terminare liniară.

În încercarea de a corecta formula (4.2) și pentru zona de câmp apropiat, am ales, prin încercări, diferite valori ale coeficientului K . Am constatat că, cele mai bune rezultate pentru zona de câmp apropiat s-au obținut atunci când am ales valoarea de 1.800. Rezultatele obținute sunt ilustrate în figura 4.2 c).

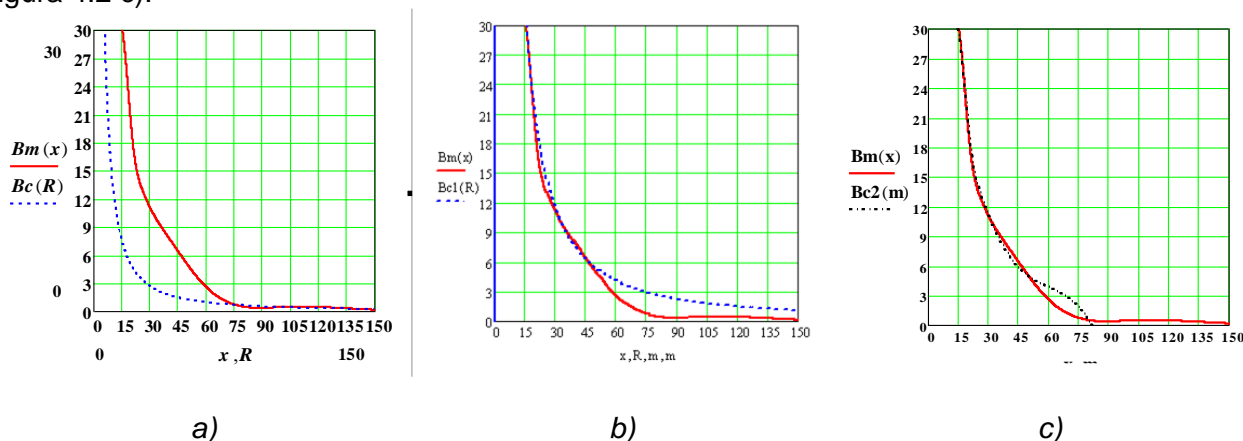


Figura 4.1 a) Variația inducției funcție de distanța față de sursă pentru o mașină de c.a.

Concluzii:

Din figura 4.1 se observă o variație semnificativă a câmpului magnetic pentru valori ale distanței pentru zona de câmp apropiat, adică pentru distanțe mai mici de 1,5 ori dimensiunea geometrică dominantă a mașinii electrice (în cazul mașinii analizate $46 \text{ cm} \times 1,5 = 69 \text{ cm}$). De asemenea, din figura 4.1 a) se observă că relația (4.2) prezentată în teză oferă rezultate excelente doar pentru determinarea valorilor inducției magnetice din zona de câmp depărtat, în zona de câmp apropiat apărând erori însemnate.

Ca și *contribuție personală*, în încercarea de a corecta relația (4.2) și pentru zona de câmp apropiat, am ales, prin încercări, diferite valori ale coeficientului K . Am constatat că, cele mai bune rezultate pentru zona de câmp apropiat s-au obținut atunci când am ales valoarea de 1.800. Rezultatele obținute sunt ilustrate în figura 4.1 c).

Conform celor prezentate în figura 4.1 a) și 4.1 c) rezultă că, în cazul mașinilor rotative de c.a., relația (4.2) poate fi folosită pentru zona de câmp apropiat dacă se adoptă pentru coeficientul K valoarea de 1.800 și pentru zona de câmp depărtat valoarea 445. Totuși, având în vedere că introducerea unui corp de probă / senzor de măsurare în zona de câmp apropiat a unei mașini electrice modifică însăși valoarea câmpurilor prin apariția cuplajelor inductive și capacitive, pentru validarea valorii propuse a coeficientului K trebuie efectuate mai multe măsurători pe diverse tipuri de mașini electrice rotative de c.a cu senzori diferiți.

4.2 Modelarea câmpului magnetic de dispersie creat de un transformator monofazat și a câmpului de scăpări creat de o bobină cu miez având construcția de tipul transformatorului monofazat în manta

Pentru verificarea relației (4.16) prezentată în teză am ales un TMC, având următorii parametri: $U_{1N} = 220V$, $U_{2N} = 24V$, $S_n = 2,5KVA$, $N_1 = 245$, $f_N = 50Hz$, $N_2 = 32$, $a = 0,055m$. Măsurătorile s-au efectuat cu un teslametru pentru câmpuri alternative de tipul TA-1. În graficele din figura 4.5 este prezentată variația inducției magnetice (în μT) funcție de distanța (în cm) față de sursă pentru un TMC: cu linie punctată albastră - $Bc(R)$ - valorile calculate cu relația (4.16) și cu linie continuă roșie - $Bm(x)$ - valorile obținute prin măsurători b) „zoom” pe o porțiune din figura 4.5 a) făcut pentru a se vedea diferența dintre cele două curbe. Graficele au fost trasate cu ajutorul programului MATHCAD. Pentru interpolare s-a folosit funcția “*cspline*” care realizează o interpolare cubică.

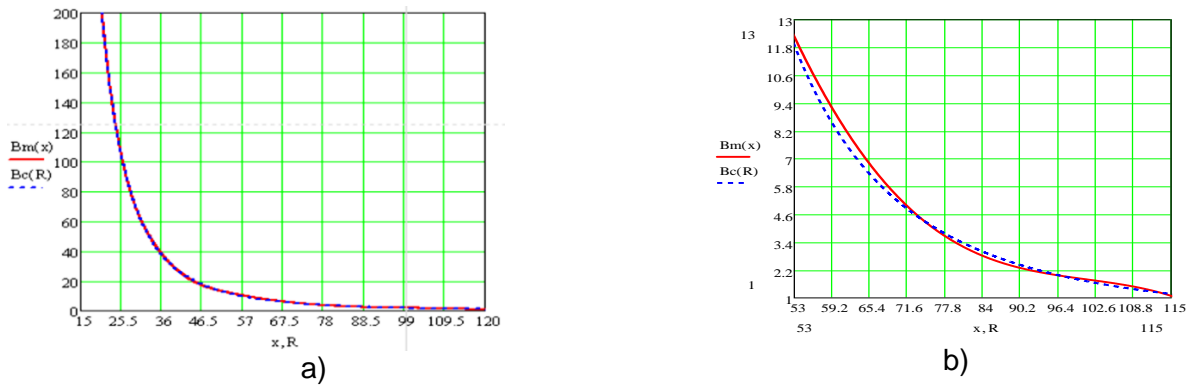


Figura 4.2 a) Variația inducției magnetice (in μT) funcție de distanța (în cm) față de sursă pentru un TMC b) zoom pe o porțiune din a)

Din rezultatele măsurătorilor efectuate rezultă că relația (4.16) din teză, poate fi folosită la distanțe mari față de transformatorul monofazat, adică în câmp îndepărtat, rezultatele obținute din calcule diferind de cele măsurate cu procente de sub 4%.

4.3 Contribuții la modelarea globală a câmpului magnetic perturbator de dispersie într-un volum / compartiment dispus pe o navă

În acest paragraf am propus o soluție pentru situațiile în care specificațiile tehnice ale echipamentului furnizează doar valoarea pragului de susceptibilitate pentru câmpul electric (V/m), fiind necesară identificarea unei metode de a echivala aceste valori și pentru intensitatea câmpului magnetic, este utilizarea valorilor $U_{e.med.total}$. Aceste valori pot fi folosite și ca un criteriu de calitate CEM pentru aprecierea influenței mediului electromagnetic asupra sistemelor atât din etapa de proiectare cât și în fazele ulterioare de modernizare ale navelor. Astfel, utilizarea $U_{e.med.total}$ permit analiza influenței mediului electromagnetic asupra unui dispozitiv electronic ce urmează a fi introdus în mediul respectiv. Dacă valorile calculate sunt peste nivelul de susceptibilitate ale noului dispozitiv atunci trebuie luate măsuri de compatibilizare.

Algoritmul propus în paragraful 4.3.4 pentru calculul valorilor $U_{e.med.total}$ are avantajul de a fi foarte ușor de implementat deoarece modelele matematice utilizate nu necesită efectuarea unor calcule / cercetări experimentale laborioase.

În paragraful 4.3.5 am propus, ca și contribuție proprie, un *algoritm pentru trasarea unei hărți a intensității câmpurilor magnetice de dispersie într-un compartiment de navă* care calculează atât câmpul magnetic, cât și tensiunea indusă în toate punctele de discretizare ale volumului incintei / compartimentului analizat și identifică punctul minim de câmp magnetic ca recomandare pentru amplasarea noilor echipamente sau dispunerea operatorului uman. Calcularea câmpului magnetic de dispersie generat de mai multe mașini electrice în interiorul aceluiași compartiment (de navă) combină formula empirică utilizată în mod obișnuit în determinarea câmpului de dispersie a mașinilor electrice cu teoria câmpului vectorial, determinând inducția magnetică în fiecare punct al domeniului de discretizare.

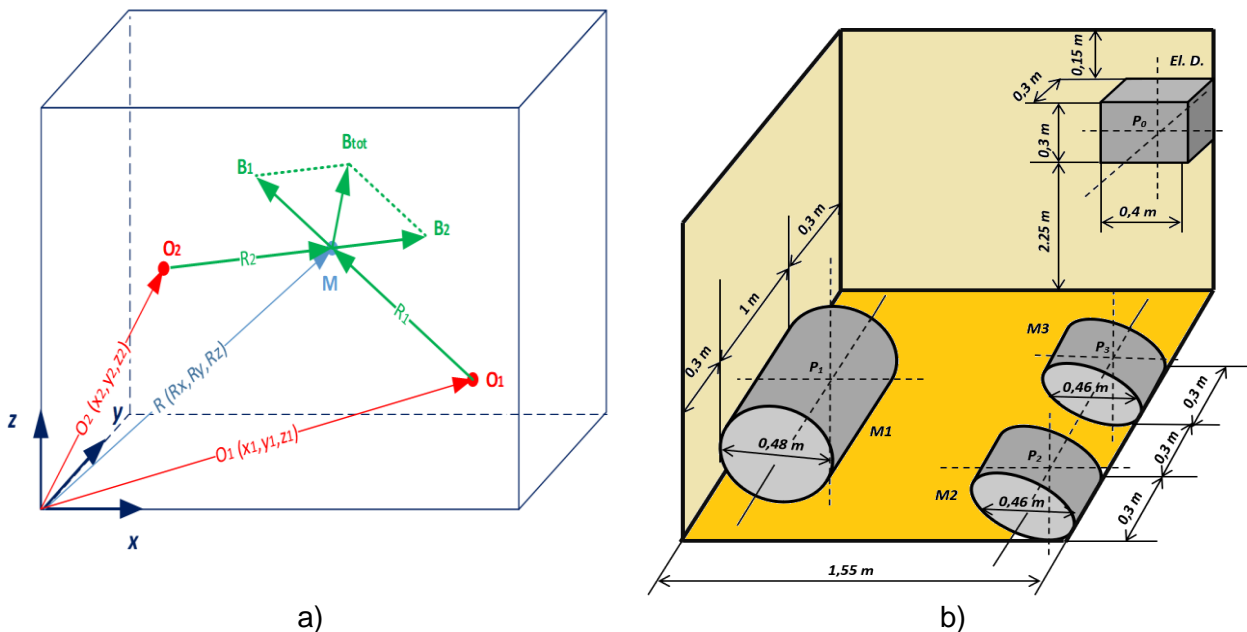


Figura 4.3 Ilustrarea schematică a: a) modului de calcul al câmpului magnetic total generat de un set de două surse O_1 , respectiv O_2 în volumul unui compartiment de navă b) locul de dispunere a echipamente electrice și electronice și a dimensiunilor acestora [28]

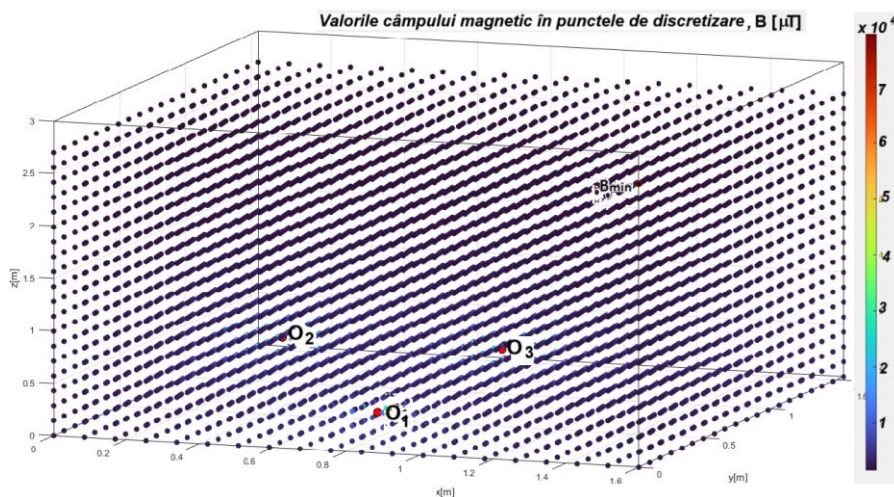


Figura 4.4 Reprezentarea tridimensională a distribuției câmpului magnetic, pentru $n = 20$ puncte de discretizare.

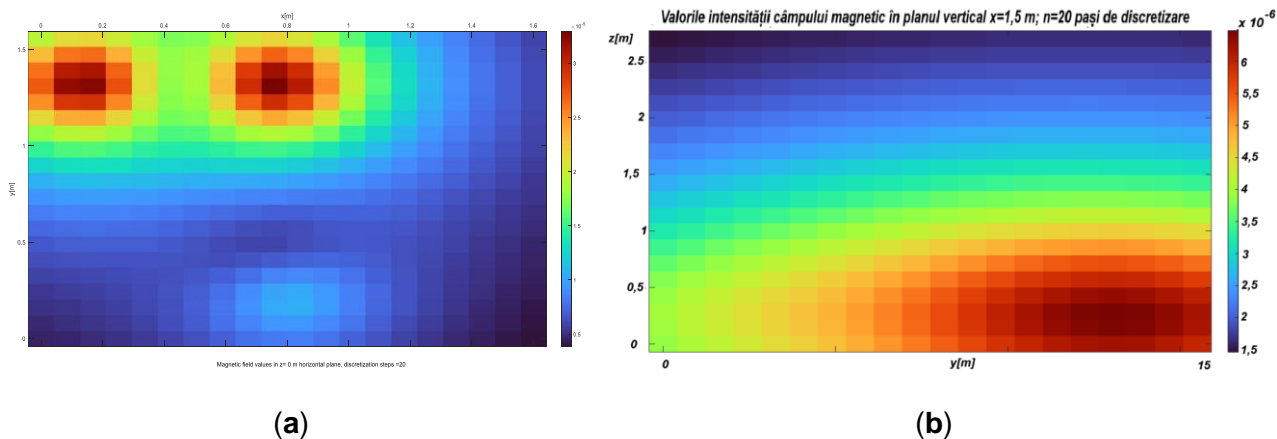


Figura 4.5 Distribuția câmpului magnetic rezultată pentru pentru $n = 20$ puncte de discretizare în: a) planul orizontal, b) în planul vertical

5. MODALITĂȚILE DE CUPLAJ ȘI PRINCIPALELE MĂSURI ANTIPERTURBATIVE

În capitolul 5 am prezentat modalitățile de cuplaj și măsurile antiperturbative aferente. Pentru o mai mare coerență, concluziile desprinse ca urmare a relațiilor prezentate și a figurilor aferente au fost formulate cât mai aproape de acestea pe parcursul capitolului. Ca urmare a acestor concluzii am prezentat și principalele măsuri antiperturbative.

În subcapitolul 5.1 am analizat modalitățile de cuplaj ale PEM de la BNM prin cuplaj galvanic între circuitele de alimentare și prin buclele de pământare. Pe baza relațiilor și figurilor aferente trasate în Mathcad am prezentat situațiile care favorizează sau cresc efectele acestora precum și principalele măsuri antiperturbative.

În subcapitolul 5.2 am analizat cuplajul capacitiv la modul general cât mai ales între două conductoare. Concluziile sunt formulate în subcapitolul 5.2.2 pe baza cărora am și prezentat principalele măsuri antiperturbative din subcapitolul 5.2.3. În cadrul măsurilor antiperturbative am analizat în mod special efectul ecranării asupra diminuării cuplajului capacitiv precum și efectele unei ecranări imperfecte. De asemenea, pe baza relațiilor prezentate și mai ales pe baza figurilor trasate în Mathcad am evidențiat efectul pe care îl au asupra cuplajului capacitiv raportul x dintre distanța între conductoare/diametrul conductoarelor, capacitatea de cuplaj parazit precum și capacitatea de cuplaj dintre circuitul victimă și masă. Tot pe baza figurilor trasate în Mathcad rezultă că acest tip de cuplaj trebuie tratat diferit în funcție de frecvența semnalului perturbator, rezultând că la frecvențe de peste 200 MHz, situație des aplicabilă sistemului de comunicații de la bordul navei, o importanță deosebită în reducerea tensiunii perturbatoare o are menținerea capacității dintre conductorul victimă și masă la valori cât mai mari. Am arătat că reducerea acestei capacități apare în situația unei mufări imperfecte a conductorului.

La fel ca și în cazul cuplajului inductiv, în subcapitolul 5.3 am analizat cuplajul inductiv atât la modul general cât, mai ales între două conductoare. Am analizat detaliat efectele pe care le are ecranarea asupra cuplajului inductiv precum și modalitățile de legare la masă ale acestuia. Concluziile sunt prezentate în subcapitolul 5.3.6. Și în acest caz concluziile sunt similare cu cele obținute în subcapitolul 4.6. De asemenea am evidențiat efectele negative ale unei ecranări imperfecte care, la fel ca în cazul cuplajului inductiv, poate apărea și în cazul unei mufări imperfecte a conductorului. Pot afirma, și pe baza experienței practice pe care am avut-o în perioada cât am lucrat în Marina Militară, că apariția acestei situații creează serioase probleme în funcționarea corectă a aparaturii iar identificarea cauzei reale consumă deosebit de multe resurse.

6. CARACTERISTICILE CEM ALE SISTEMELOR DE COMUNICAȚIE

În capitolul 6 am prezentat principalele caracteristici CEM ale celor două componente principale ale unui sistem de comunicații de la bordul unei nave militare: RE și RR. Aceste caracteristici sunt folosite în analizele efectuate în capitolele 7 și 8. De asemenea, am prezentat și limitele impuse de standardele militare și civile în vigoare acestor caracteristici.

În subcapitolul 6.1 am prezentat principalele caracteristici CEM ale RE în care am definit și analizat radiațiile neesențiale radiațiile în afara benzii și radiațiile nedorite. Din cadrul radiațiilor neesențiale am prezentat caracteristicile pentru radiațiile emisiilor armonice și nearmonice precum și radiațiile parazite și produsele de intermodulație și de conversie a frecvenței. Având în vedere nivelul mare de putere datorat emisiei pe frecvența fundamentală am prezentat principalele aspecte ce țin de stabilitatea acesteia. Pentru mai multă coerență caracteristicile de emisie a RE trasate pe baza măsurărilor efectuate la bordul unei nave militare, emisia pe frecvențele armonice precum și atenuarea acestora în raport cu fundamentala sunt prezentate în capitolul 8.

În subcapitolul 6.2 am prezentat principalele caracteristici CEM ale RR, în special ale celor de tipul superheterodină care sunt cele mai folosite la momentul actual. Ca urmare a acestei analize în subcapitolul 6.2.5 am prezentat o nouă clasificare a EMI bazată pe canalele principale și secundare de recepție. Pe baza acestei clasificări, în subcapitolul 7.5 este dezvoltat un algoritm de calcul al marginilor de interferență pentru sistemele de radiocomunicații de la bordul navelor militare.

În subcapitolul 6.3 am analizat atenuarea u.e.m. datorată propagării necesară elaborării algoritmului din subcapitolul 7.5 precum și distorsiunile induse de canalul de propagare.

7. CONTRIBUȚII PRIVIND ANALIZA REZISTENȚEI LA PEM A SISTEMELOR DE COMUNICAȚII DE LA BNM

7.1 Contribuții la analiza efectelor IEM co-canal și pe canal adiacent asupra etajelor de intrare într-un RR. Analiza efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate

În acest subcapitol am analizat IEM care produc efecte asupra etajelor de intrare ale RR și aici mă refer în special la amplificatoarele de radiofrecvență (ARF) care constituie primul etaj de amplificare dintr-un RR și, prin urmare, este foarte important ca forma semnalului recepționat să nu fie deformată deoarece, în cazul producerii distorsiunilor neliniare, în semnalul amplificat apar componente noi cu frecvențe care nu au existat la intrare. Aceste componente noi sunt preluate ulterior de celelalte etaje ale RR și pot modifica atât structura semnalului util cât și forma sa.

Pentru studiul efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice considerăm cazul clasic al unui amplificator cu tranzistor bipolar de tipul NPN de mică putere și medie frecvență în conexiune EC (ATBEC). Nu am ales un tranzistorul de tip MOS deoarece, așa cum s-a prezentat în capitolul 2, acestea sunt mult mai sensibile la IEM de tipul ESD, având impedanța de intrare mult mai mare decât a tranzistoarelor bipolare. De asemenea, am ales conexiunea în emitor comun deoarece aceasta oferă cea mai mare amplificare a semnalelor, lucru necesar în ARF deoarece semnalele de intrare într-un RR sunt de valoare foarte mică.

Se pleacă de la Ecuațiile Ebers-Moll [34], [35] corespunzătoare modelului tranzistorului cu generatoare de curent comandate de curenții prin diode prezentate în [36] și se fac următoarele notații: I_{ES} este curentul rezidual al joncțiunii emitoare cu colectorul în scurtcircuit, I_{CB0} reprezintă curentul invers al joncțiunii colector, α_F este factorul de amplificare în curent emitor colector sau factorul de amplificare în curent de semnal mare, α_R este factorul de amplificare în curent pentru regimul inversat, $q = -e = -1,602 \cdot 10^{-19} C$ în cazul electronilor, respectiv $q = e$ în cazul golurilor, U_{BE} reprezintă tensiunea de polarizare, $U_T = \frac{kT}{q} \cong 26mV$ la $36^\circ C$ - tensiunea (de ambalare) termică.

Pentru cazul general în care la intrare se aplică un semnal $u(t)$ de forma:

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) + \dots + u_n(t) \quad (7.1)$$

Componenta variabilă a curentului de colector este de forma:

$$i_{CV}(t) = \alpha_F \cdot I_{ES} \cdot e^{\frac{qu_{BE}}{kT}} = \alpha_F \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \cdot I_{ES} \cdot e^{\frac{u_1(t)+u_2(t)+\dots+u_n(t)}{U_T}} \quad (7.2)$$

Analizând relația (7.8) rezultă că forma semnalului de ieșire pentru situațiile în care semnalul de intrare are valori mici, depinde exclusiv de $e^{u_1(t)+u_2(t)+\dots+u_n(t)}$. Pentru a ilustra ce se obține la ieșirea unui ARF atunci când peste semnalul util se suprapun mai multe semnale de mică amplitudine, exemplificate la punctul c) din paragraful anterior, am considerat un semnal util modulată în amplitudine peste care se suprapun alte 4 semnale cu frecvențe situate în interiorul benzii de trecere a ARF și a căror amplitudini sunt mult mai mici decât cea a semnalului util în următoarele rapoarte: un semnal este în raportul de 1/10, al doilea în raportul de 1/100 și încă două semnale în raportul de 1/1.000.

În figura 7.2 este prezentată forma de undă a acestor semnale trasate cu ajutorul programului Mathcad. Astfel, cu linii punctate de culoare roșie este trasat semnalul util (semnalul modulat și semnalul modulator sau înfășurătoarea) neafectat(e), iar cu linii de culoare albastră sunt trasate semnalul perturbat (rezultat din însumarea și amplificarea semnalului util și a celor 4 semnale perturbatoare) și înfășurătoarea acestuia – înfășurătoarea unui semnal este practic semnalul ce poate fi obținut și la ieșirea demodulatorului dacă nu se iau măsuri suplimentare de filtrare.

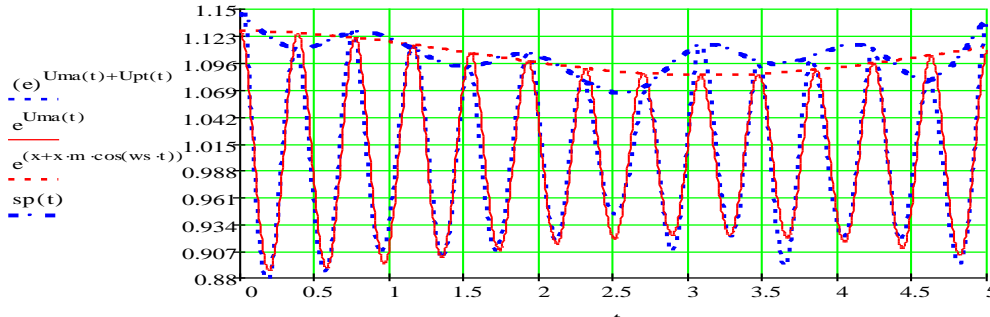


Figura 7.1 Semnalul obținut la ieșirea unui amplificator în urma însumării acestuia cu mai multe semnale armonice cu amplitudini de valoare foarte mică în comparație cu amplitudinea semnalului util

Din figura 7.1 se observă că înfășurătoarea noului semnal este total diferită de cea a semnalului original /util. Prin urmare, chiar dacă la intrarea în ARF pe lângă semnalul util ajung și alte semnale de amplitudini foarte mici comparativ cu semnalul util, efectul acestora este totuși unul însemnat. În același mod, dacă la intrarea amplificatoarelor de semnal dintr-un etaj de sinteză de frecvență dintr-un RE ajung și semnale perturbatoare de valori foarte mici, acestea pot fi regăsite și în semnalul final trimis către antenă fiind o modalitate de apariție a emisiilor armonice și nearmonice care sunt tratate în subcapitolul 6.1.2 din teză.

7.1.3. Analiza efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate folosind metoda descompunerii în serie Taylor (ST)

Pentru ușurința calculului considerăm semnalul de intrare ca fiind armonic, având expresia:

$$u(t) = U_0 \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) \tag{7.3}$$

Efectuăm următoarele notații:

$$t_0 = \alpha_F \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \cdot I_{ES}; \quad t_1 = \frac{t_0}{1! \cdot U_T}; \quad t_2 = \frac{t_0}{2! \cdot U_T^2}; \quad \dots \quad t_m = \frac{t_0}{m! \cdot U_T^m}. \tag{7.4}$$

$$r_u = \frac{U_0}{U_T}, \quad I_{CC} = \alpha_F \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \cdot I_{ES} \tag{7.5}$$

$$T_{30}(r_u) = \left(1 + \frac{1}{4}r_u^2\right), \quad T_{31}(r_u) = \left(r_u + \frac{1}{8}r_u^3\right), \quad T_{32}(r_u) = \frac{1}{4}r_u^2, \quad T_{33}(r_u) = \frac{1}{24}r_u^3 \tag{7.6}$$

$$\begin{aligned} T_{50}(r_u) &= \left(1 + \frac{1}{4}r_u^2 + \frac{3}{192}r_u^4\right), \quad T_{51}(r_u) = \left(r_u + \frac{1}{8}r_u^3 + \frac{1}{960}r_u^5\right), \quad T_{52}(r_u) = \left(\frac{1}{4}r_u^2 + \frac{1}{48}r_u^4\right), \\ T_{53}(r_u) &= \left(\frac{1}{24}r_u^3 + \frac{1}{1920}r_u^5\right), \quad T_{54}(r_u) = \frac{1}{960}r_u^4, \quad T_{55}(r_u) = \frac{1}{1920}r_u^5 \end{aligned} \tag{7.7}$$

Dacă luăm în considerare dezvoltarea în ST până la ordinul 3, plecând de la relația (7.2) și grupând termenii în funcție de factorii în $\cos(n \cdot \omega_0 \cdot t)$, putem scrie:

$$i_{CV} = I_{CC} \cdot \left[T_{30}(r_u) + T_{31}(r_u) \cdot \cos(\omega_0 \cdot t) - T_{32}(r_u) \cdot \cos(2 \cdot \omega_0 \cdot t) + T_{33}(r_u) \cdot \cos(3 \cdot \omega_0 \cdot t) \right] \tag{7.8}$$

Prin luarea în considerare a termenilor ST până la ordinul 5 obținem modalitatea de calcul a valorilor amplitudinii armonicilor de până la armonica de ordinul 5:

$$i_{CV} = I_{CC} \cdot \left[T_{50}(r_u) + T_{51}(r_u) \cdot \cos(\omega_0 t) - T_{52}(r_u) \cdot \cos(2\omega_0 t) + T_{53}(r_u) \cdot \cos(3\omega_0 t) - \right. \\ \left. - T_{54}(r_u) \cdot \cos(4\omega_0 t) + T_{55}(r_u) \cdot \cos(5\omega_0 t) \right] \quad (7.9)$$

Prin utilizarea relațiilor (7.8), și (7.9) se poate pune mai clar în evidență apariția armonicelor superioare în semnalul de ieșire și se poate obține o modalitate relativ ușoară de calcul al amplitudinii acestora.

7.1.4 Analiza efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate folosind descompunerea în SF

O altă metodă de calcul a formei curentului la ieșirea din ATBEC este prin descompunerea acestuia în serie Fourier (SF) [37]. Coeficienții dezvoltării în SFT ai relație (7.8) se calculează pe baza relațiilor:

$$F_{t0}(r_u) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} e^{r_u \cdot \cos(\omega_0 t)} dt \quad (7.10)$$

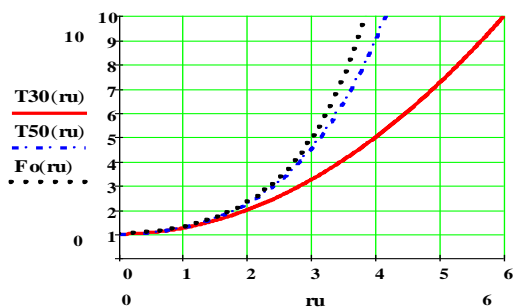
$$F_{tn}(r_u) = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} e^{r_u \cdot \cos(\omega_0 t)} \cos(n\omega_0 t) dt \quad (7.11)$$

Notând cu $I_C = \alpha_F \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \cdot I_{ES} \cdot F_0(r_u)$, se obține pentru componenta variabila a curentului de colector o relație de forma:

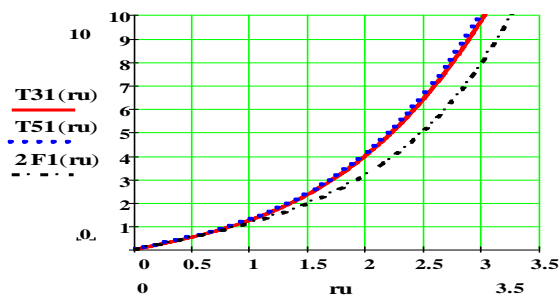
$$i_{CV} = I_C \cdot [F_0(r_u) + 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} F_n(r_u) \cdot \cos n\omega_0 t] \quad (7.12)$$

7.1.6 Comparație între acuratețea celor două procedee de analiză a efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate

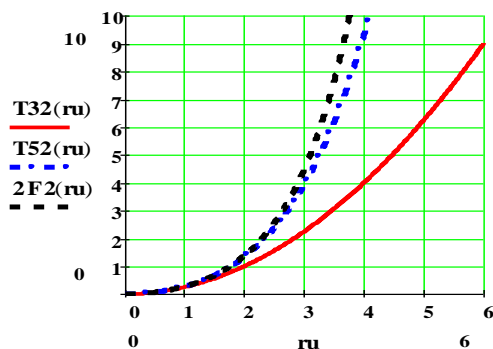
Pentru o analiză mai facilă, în figura 7.2 s-a trasat, în Mahtcad, modul de variație coeficienților descompunerii în SF și ST în funcție de mărimea semnalului de intrare $r_u = U_0/U_T$.



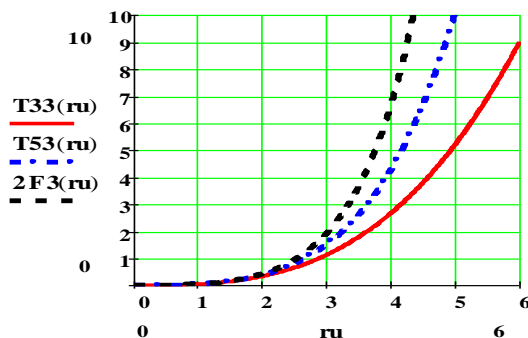
a)



b)



c)



d)

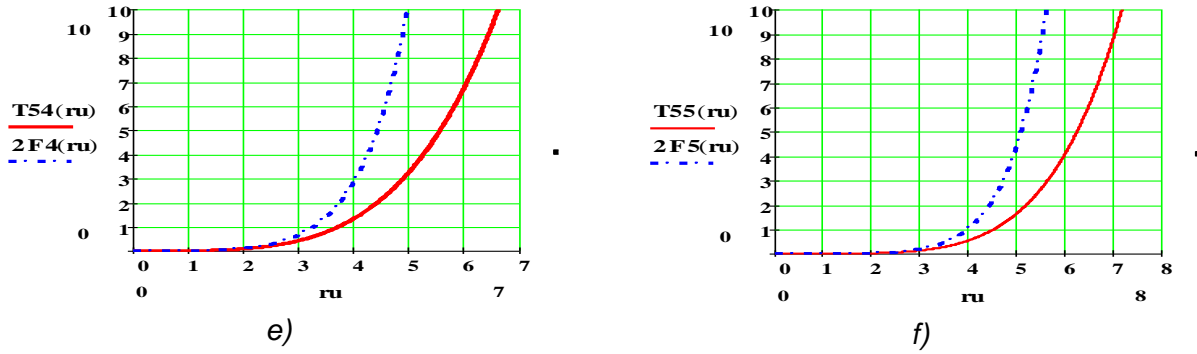
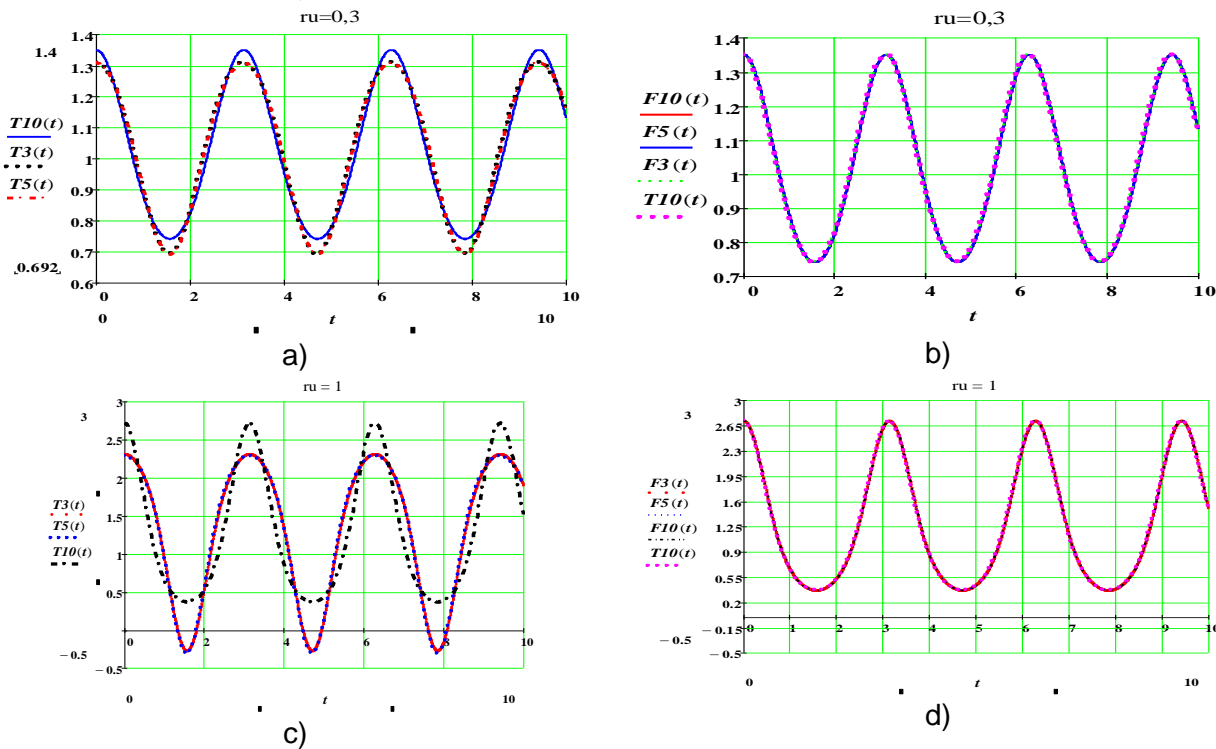


Figura 7.2 Modul de variație al coeficienților descompunerii în ST și serie de ST în funcție de mărimea semnalului de intrare ($r_u = U_0/U_T$)

Din graficele prezentate în figura 7.2 se observă că pentru $r_u < 1$ valorile coeficienților sunt aproximativ identice indiferent de metodă aleasă sau de numărul de coeficienți iar până la $r_u < 2$ diferențele dintre aceste valori sunt neglijabile. În schimb, o dată cu creșterea r_u peste această valoare se poate observa și creșterea diferențelor între cele două tipuri de coeficienți; diferențele sunt mai puțin pregnante în cazul în care luăm mai mulți termeni în considerare pentru dezvoltarea în ST. Diferența se înregistrează doar pentru componenta fundamentală, unde curba coeficienților dezvoltării în ST cu 5 termeni este aproximativ aceeași cu cea obținută cu dezvoltarea în ST cu 3 termeni.

Pentru o mai bună comparare, în figura 7.3 am procedat la trasarea în același grafic a formei de undă a semnalului de ieșire din ATBEC obținut prin sumarea primilor 3, 5 și 10 termeni ai descompunerii în SF (în figură notați cu $F3(t)$, $F5(t)$, $F10(t)$), precum și prin sumarea primilor 3, 5 și 10 termeni din dezvoltarea în ST (în figură notați cu $T3(t)$, $T5(t)$, $T10(t)$). Am ales două situații: $r_u = 0,3$, $r_u = 1$, $r_u = 2$, $r_u = 4$ și $r_u = 6$. Graficele au fost obținute în Mathcad.



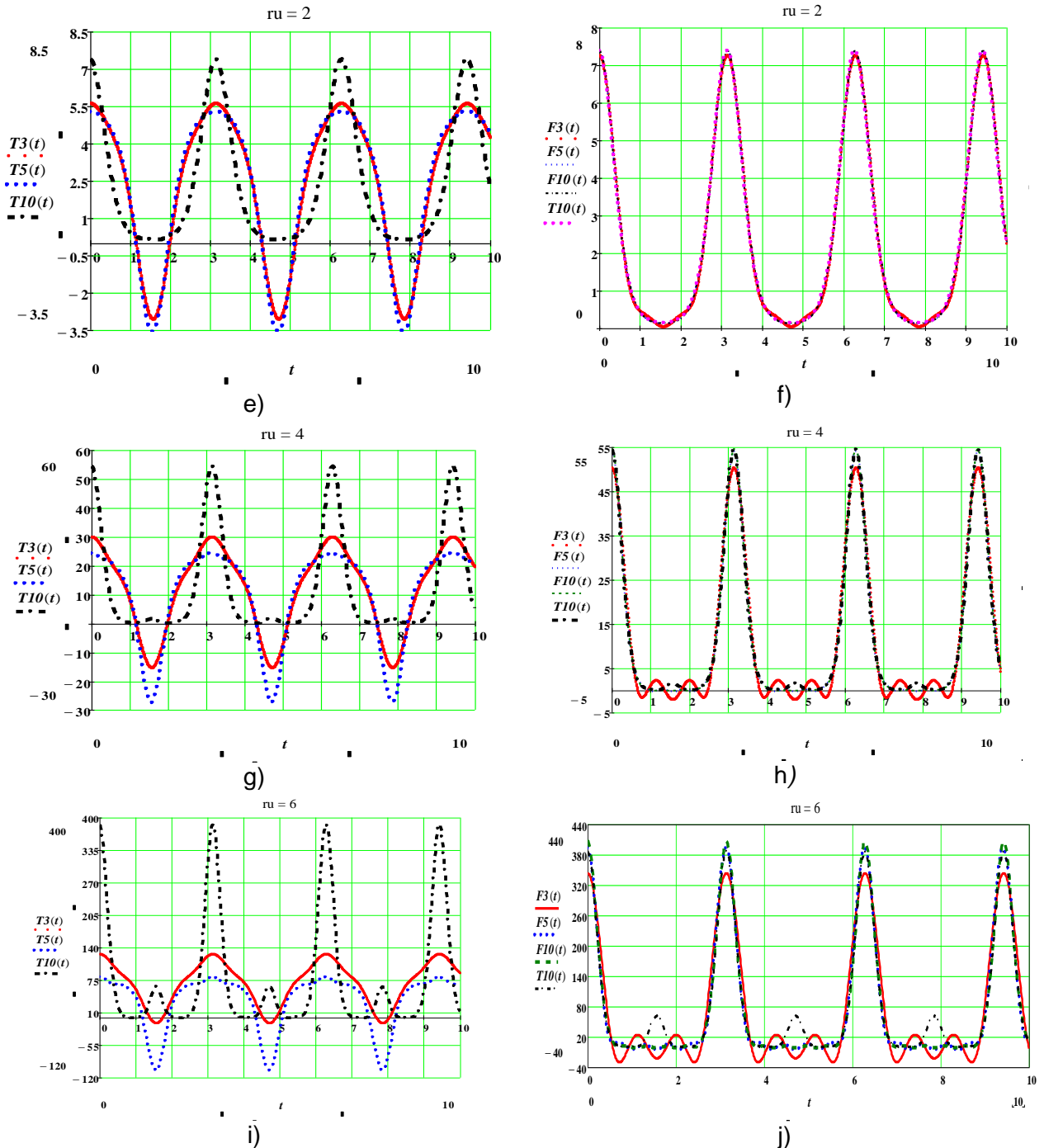


Figura 7.3 Forma semnalului la ieșire prin luarea în considerare a primilor termeni din descompunere în ST, respectiv descompunere în SF

Din analiza formelor de undă prezentate în figura 7.3 se observă că, pentru $r_u = 0,3$, în cazul descompunerii în ST, forma semnalului obținut prin luarea în considerare a primilor 3 termeni coincide cu forma semnalului obținut prin luarea în considerare a primilor 5 termeni, dar diferă de forma semnalului obținut prin luarea în considerare a primilor 10 termeni. În cazul descompunerii în SF, formele semnalelor obținute sunt identice pentru cele 3 cazuri și coincid cu forma semnalului obținut prin luarea în considerare a primilor 10 termeni ai ST. Cu alte cuvinte, precizia obținută în cazul ST cu 10 termeni este aceeași cu cea obținută în cazul SF cu 3 termeni dar diferențele nu sunt totuși majore.

Pentru $r_u=1$ se mențin concluziile de la cazul $r_u=0,3$ cu mențiunea că forma semnalului de ieșire este deformată, deformare ce poate fi explicată prin creșterea neliniarității ATBEC lucru care duce și la creșterea valorilor armonicilor superioare în raport cu armonica fundamentală.

O dată cu creșterea raportului r_u crește și valoarea curentului de ieșire / colector dar crește puternic și gradul de deformare al semnalului obținut prin ambele metode. Semnalul amplificat are și valori negative. Suntem în cazul amplificatoarelor radiofrecvență de putere (ARFP) folosite în RE unde, pentru creșterea amplificării și a randamentului ARFP se folosesc rapoarte mari ale r_u cu prețul creșterii ponderilor armonicilor superioare în componența semnalului amplificat. Formele semnalului obținut cu ajutorul coeficienților ST cu 3, 5 și 10 termeni diferă foarte mult între ele, diferență ce crește o dată cu creșterea raportului r_u . În cazul SFA se constată o diferență minoră între luarea în considerare a primilor 3 termeni față de cel cu luarea în considerare a primilor 5 respectiv 10 termeni. Formele semnalului pentru SFA cu 5 și 10 termeni sunt aproximativ identice cu cele ale ST cu 10.

Concluzie: având în vedere că pentru transmiterea informației RE modulează o purtătoare armonică, purtătoare pe care o regăsim și la intrarea ARF dintr-un RR, se poate avansa ideea că, pentru determinarea amplitudinilor armonicilor din compunerea semnalului de la ieșirea unui ATBEC, metoda descompunerii semnalelor în serie Fourier este mult mai precisă și mai facilă decât metoda descompunerii în serie de puteri.

7.1.7 Soluție propusă pentru diminuare a efectelor neliniare și a intrării în saturație a etajelor de amplificare dispuse la intrarea într-un RR

În continuare propun o modalitate de reducere a neliniarităților etajelor de radiofrecvență bazate pe seria de puteri inversă dar în care compensarea se introduce prin realizarea unei bucle de reacție negativă, similară sistemelor automate. Schema acestui sistem este prezentată în figura 7.4.

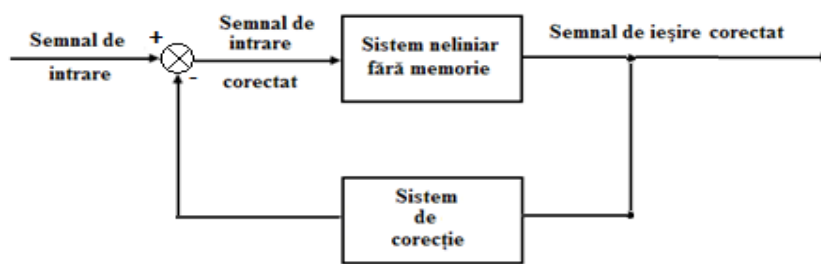


Figura 7.4 Compensarea neliniarității prin introducerea unei reacții negative

Tensiunea la intrare poate fi scrisă funcție de curentul de ieșire pe baza seriei de puteri inverse astfel [38]:

$$u(t) = C_1 i(t) + C_2 i(t)^2 + C_3 i(t)^3 + C_4 i(t)^4 + C_5 i(t)^6 + \dots \tag{7.13}$$

unde:

$$C_1 = \frac{1}{c_1}, C_2 = -\frac{c_2}{c_1^3}, C_3 = \frac{2c_2^2 - c_1 c_3}{c_1^5}, C_4 = \frac{5c_1 c_2 c_3 - 5c_2^3 - c_1^2 c_4}{c_1^7}$$

$$C_5 = \frac{7c_1^3 c_2 c_5 + 84c_1 c_2^3 c_3 + 7c_1^3 c_3 c_4 - 28c_1^2 c_2 c_3^2 - c_1^4 c_6 - 28c_1^2 c_2^2 c_4 - 42c_2^5}{c_1^7} \tag{7.14}$$

Astfel, din compunerea tensiunii de intrare pot fi scăzute, prin introducerea unei reacții, componentele de ordin superior care, datorită operării etajului în zona neliniară duc la distorsionarea semnalului util. În figura 7.5 este prezentată schema pe care am conceput-o în Matlab – Simulink.

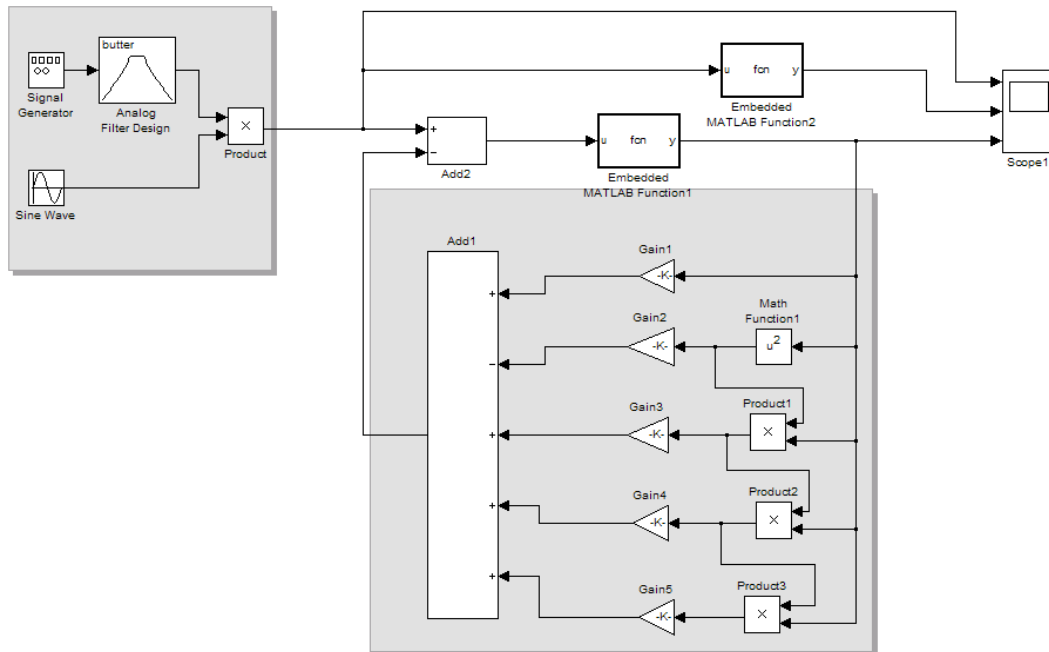
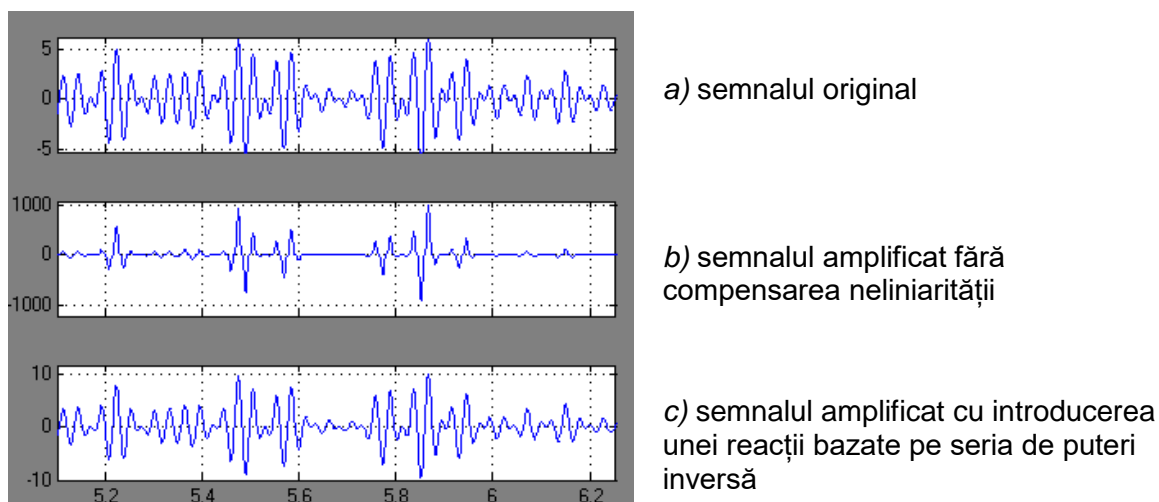


Figura 7.5 Schema concepută în Matlab-Simulink pentru simularea reducerii neliniarităților etajelor de radiofrecvență prin introducerea unei reacții bazate pe seria de puteri inversă



a) semnalul original

b) semnalul amplificat fără compensarea neliniarității

c) semnalul amplificat cu introducerea unei reacții bazate pe seria de puteri inversă

Figura 7.6 Semnalele obținute în urma efectuării simulării în Matlab-Simulink pe baza schemei din figura 7.5

Din figura 7.6 se observă că în urma introducerii unei reacții negative bazate pe seria de puteri inversă deformarea semnalului datorată operării tranzistorului în zona neliniară este redusă considerabil.

Cu toate acestea, pentru creșterea stabilității, prețul plătit este scăderea în amplificare. Pentru a obține o rată ridicată de amplificare, o soluție ar putea fi utilizarea a două etape RFA: primul pas cu bucla de feedback pentru a crește imunitatea la tulburări (interferențe) și al doilea pas fără bucla de feedback, pentru a atinge un nivel ridicat de amplificare.

Schema propusă oferă protecție împotriva IEM funcționale sau intenționate prin limitarea funcționării unui amplificator în zona neliniară și evitarea intrării acestuia în saturație. Având în vedere că scopul principal al IEM intenționate (inclusiv al bruiajului de blocare) este tocmai intrarea în saturație a ARF schema propusă se poate dovedi deosebit de eficientă în protejarea RR dispuse la bordul navelor militare și nu numai.

7.2 Contribuții la studiul interferențelor co-canal și al stabilității oscilatoarelor locale asupra calității prelucrării semnalelor recepționate

Extragerea nealterată a informației de către receptoare constituie principala provocare a tuturor sistemelor de comunicații și transmitere a informației. Acest lucru devine cu atât mai dificil de obținut cu cât aceste sisteme sunt nevoite să funcționeze în medii electromagnetice suprasaturate cum ar fi cele industriale, dar mai ales cele aflate pe teatrele de operații sau la bordul navelor militare.

În cazul perturbațiilor datorate emisiilor având frecvența purtătoare învecinată cu cea a semnalului recepționat, realizarea unui receptor având o caracteristică de selectivitate apropiată cât mai mult de cea a unui filtru trece-bandă ideal este principala modalitate de reducere a efectului perturbațiilor de interferență utilizată încă din faza de proiectare a sistemelor de comunicații. Această măsură devine ineficientă în cazul semnalelor care se află în interiorul benzii de trecere a receptorului numite și interferențe co-canal.

Pentru studiul interferențelor co-canal între două sisteme de comunicații cu MA-PS am conceput o schemă de simulare cu ajutorul programului de simulare Matlab – Simulink. Am ales sistemele MA-PS deoarece, dintre sistemele de comunicație cu modulație liniară, acestea sunt cel mai ușor de obținut, fiind și cele mai reprezentative.

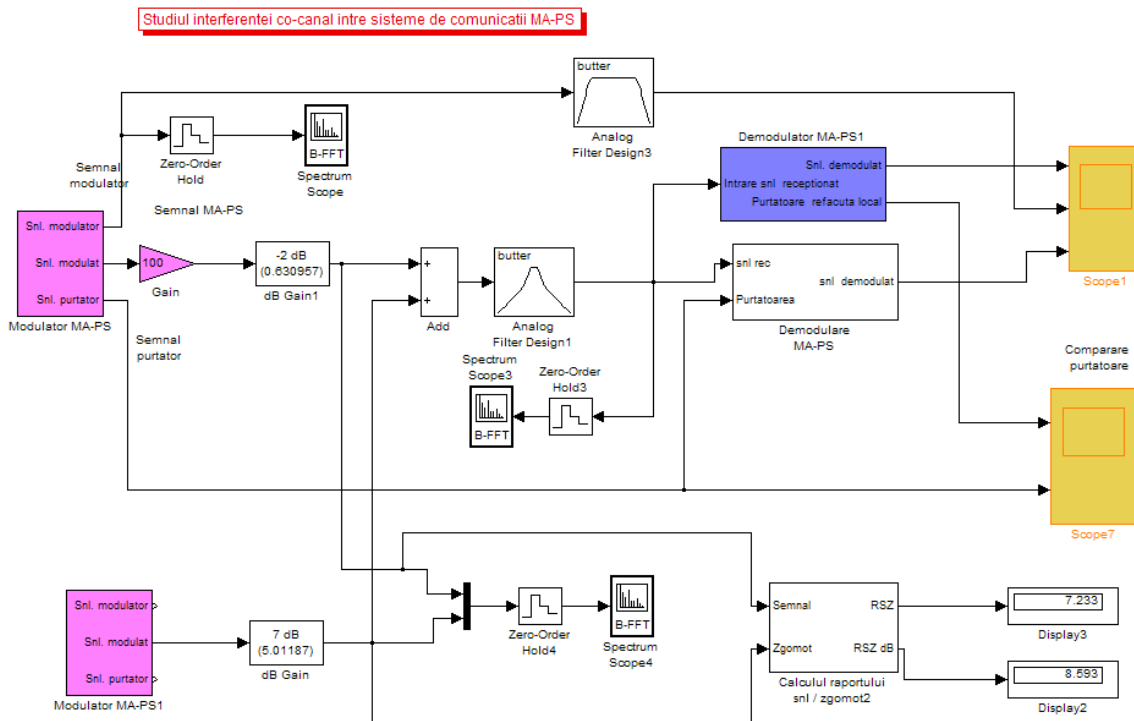
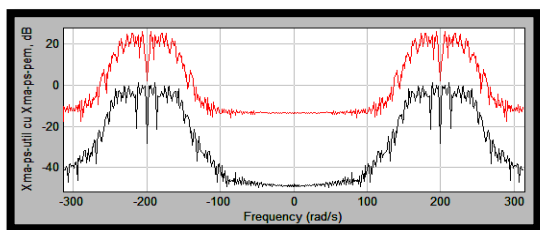
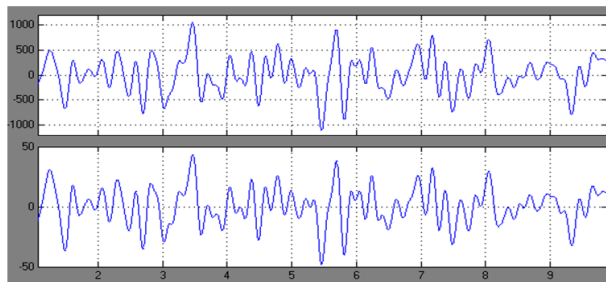


Figura 7.7 Schema concepută în Matlab-Simulink pentru studiul interferențelor co-canal

b)

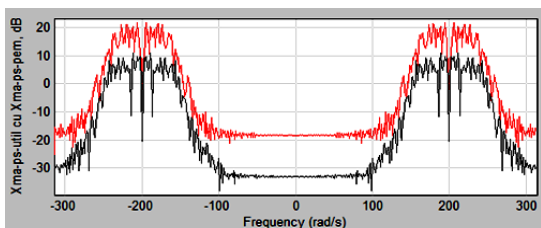


a)

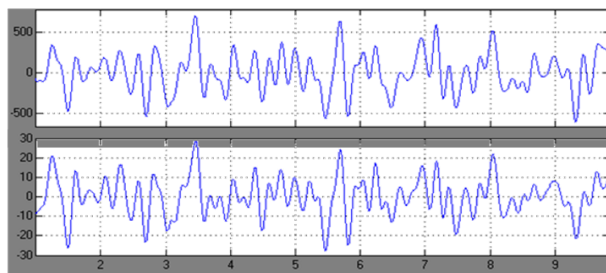


c)

Figura 7.8 a) FDS pentru semnalul util și cel perturbator, b) semnal original, c) semnal recepționat cu refacerea purtătoarei folosind un semnal în fază cu purtătoarea folosită la emisie pentru RSZ = 24,4 dB



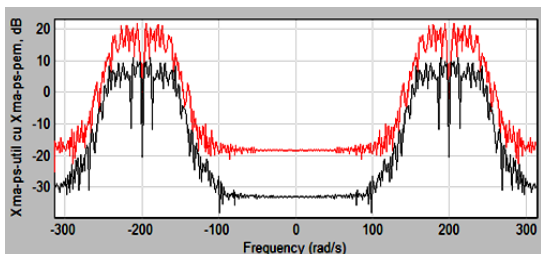
a)



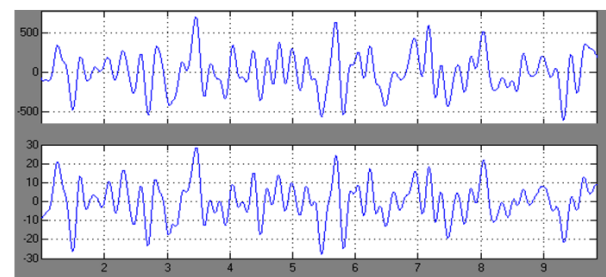
b)

c)

Figura 7.9 a) FDS pentru semnalul util și cel perturbator, b) semnal original, c) semnal recepționat cu purtătoarea refacută local defazată cu $\pi/2$ față de cea folosită la emisie. RSZ = RSZ=11,3 (10,53 dB)



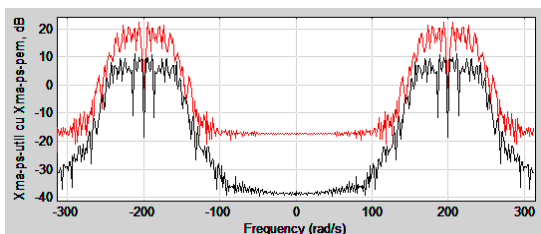
a)



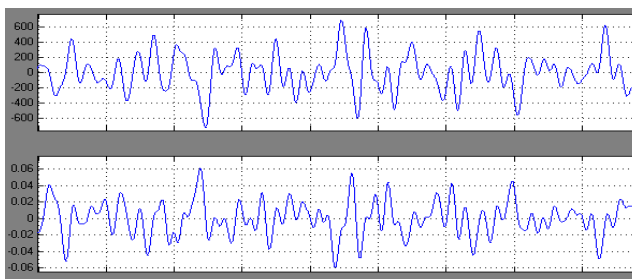
b)

c)

Figura 7.10 a) FDS pentru semnalul util și cel perturbator, b) semnal original, c) semnal recepționat cu purtătoarea refacută local defazată cu $\pi/2$ față de cea folosită la emisie. RSZ = 7,23 (8,59 dB)



a)



b)

c)

Figura 7.11 a) FDS pentru semnalul util și cel perturbator, b) semnal original, c) semnal recepționat cu purtătoarea refacută local defazată cu $\pi/3$ față de cea folosită la emisie. RSZ = 11,57 (10,63 dB)

Din figura 7.11 se observă că pentru cazul în care defazajul dintre cele două purtătoare este de $\pi/3$ semnalul recepționat *nu urmărește deloc forma semnalului etalon (este practic pe dos)*.

Ca urmare a abordării teoretice și a verificării acestor rezultate prin simulare se pot formula următoarele concluzii:

1. Comunicațiile care folosesc semnale MA-PS sunt deosebit de rezistente la perturbațiile co-canal atât timp cât purtătoarea generată local este în fază cu purtătoarea semnalului purtător.
2. Se observă că cel mai defavorabil caz, atunci când efectuam simularea în Matlab Simulink, apare la un defazaj de $\pi/3$ al purtătoare refăcute în timp ce din literatura de specialitate reiese că cel mai defavorabil caz ar trebui să fie la un defazaj de $\pi/2$.
3. Din simulare reiese că cel mai nefavorabil caz nu duce la anularea recepției, ci la distorsionarea semnificației semnalului transmis (forma semnalului apare întors) - o situație foarte periculoasă în situații în care aceste sisteme de comunicații sunt utilizate pentru transmiterea informațiilor vitale (cum ar fi sistemele industriale de comandă și control sau sistemele de transmitere a informațiilor în teatrele de operațiuni).
4. Atât rezultatele teoretice, cât și rezultatele simulării arată importanța specială a menținerii unei sincronizări perfecte între purtătoare generată la emisie și cea generată local. Defazajele dintre cele două purtătoare poate apărea și ca urmare a instabilității etajelor de formare a frecvenței de emisie din RE cât și a instabilității etajelor de formare a frecvenței de heterodinare din RR atât ca urmare a unei termostatării incorecte cât și ca urmare a pătrunderii semnalelor perturbatoare în aceste etaje prin procese descrise în capitolele 4 și 5. Prin urmare, la locul de dispunere atât a RE cât și al RR trebuie identificate toate situațiile care ar putea pune în pericol funcționarea corectă a oscilatoarelor locale. În acest sens, trebuie respectate toate regulile de compatibilitate electromagnetică, atât în timpul fazei proiectate, cât și în timpul punerii în funcțiune și funcționării sistemelor.
5. Deoarece semnalele MA-PS fac parte din clasa semnale cu modulație liniară, concluziile de mai sus pot fi extinse la toate sistemele care utilizează acest tip de modulație.

7.3 Contribuții la studiul rezistenței la perturbații a principalelor tipuri de sisteme de comunicații la bordul navelor militare utilizate în timpul misiunilor de căutare și salvare pe mare

Un aspect critic al siguranței maritime este asigurarea unor comunicații radio adecvate în situații de primejdie /distress, în condițiile unui spectru electromagnetic supraaglomerat și a unui mediu de propagare "zgomotos". O metodă de analiză a rezistenței la interferență a sistemelor de comunicație este de a însuma la recepție, peste semnalul modulat cu semnalul de modulație $x(t)$, un zgomot gaussian alb, necorelat, cu valoarea medie zero $z(t)$ [39], [40], [41], [42]. În acest sens, factorul de îmbunătățire al demodulatorului (FID).

Figura 7.12 ilustrează FID pentru semnalele modulate folosite în comunicațiile de căutare și salvare analizate în teză, în funcție de indicele de modulație m / panta K / abaterea D și de puterea semnalului modulator normalizat $\overline{f^2(t)}$. Prin urmare, linia punctată albastră reprezintă $FIDa3x$ calculat în funcție de indicele de modulație m ; linia roșie continuă reprezintă $FIDj3e$; linia punctată roșie reprezintă $FIDg3e$ calculat în funcție de panta modulatorului de fază K_{MG} iar în final, linia punctată neagră reprezintă $FIDf1b$ calculat în funcție de raportul de deviație de frecvență D . S-au trasat trei grafice corespunzător pentru trei valori ale puterii semnalului modulator normalizat $\overline{f^2(t)}$: 0,3, 0,5, 0,8 și 1.

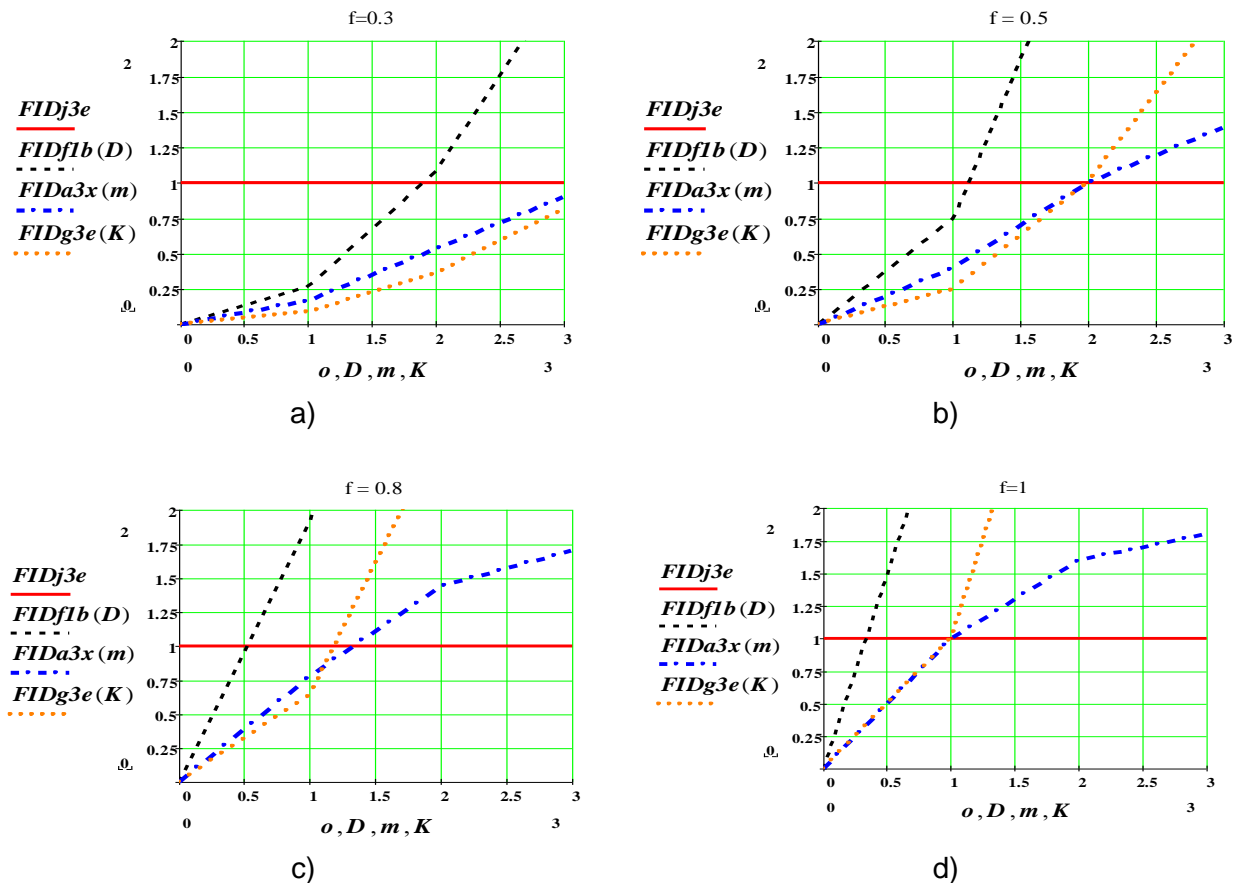


Figura 7.12 Reprezentare grafică a FID pentru diferite valori ale puterii semnalului modulator normalizat: a) $\overline{f^2(t)} = 0,3$; b) $\overline{f^2(t)} = 0,5$; c) $\overline{f^2(t)} = 0,8$ și d) $\overline{f^2(t)} = 1$

Pentru verificarea rezultatelor am conceput o schemă de simulare în Matlab-Simulink, prezentată în figura 7.13.

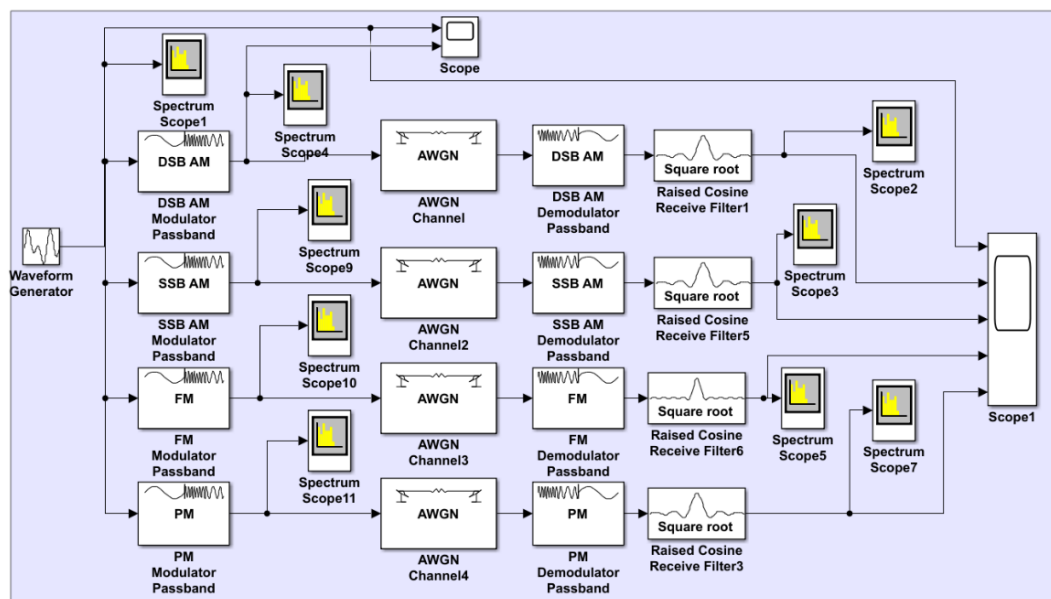
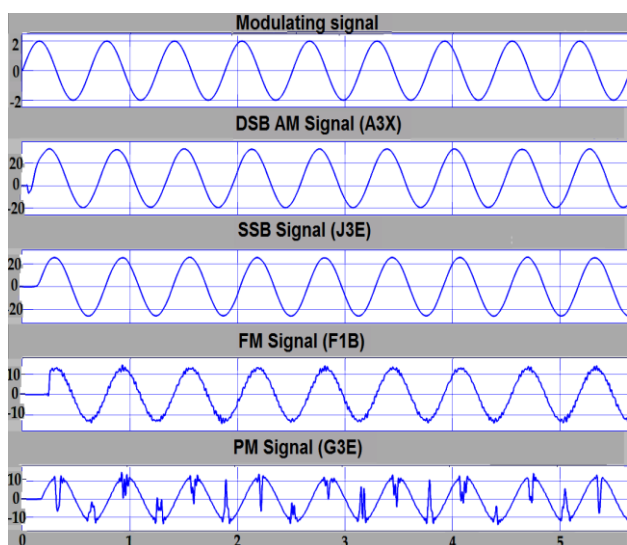


Figura 7.13 Diagrama schematică utilizată în software-ul Matlab-Simulink pentru verificarea stabilității la perturbații a principalelor clase de emisii utilizate în comunicațiile de căutare și salvare pe mare.

În figura 7.14 sunt prezentate cele cinci tipuri semnale: semnalul de modulație $x(t)$ creat de generatorul de forme de undă și semnalele obținute la ieșirea următoarelor demodulatoare: DSB AM (clasa A3X), SSB AM (clasa J3E), FM (clasa F1B) și PM (clasa G3E). Scalele graficelor de semnal sunt diferite și sunt ilustrate în partea stângă a fiecărui canal de osciloscop. Toate cele cinci semnale au fost determinate pentru diferite valori ale raportului semnal / zgomot și abaterea de fază $\Delta\phi$ (în cazul demodulatorului de fază).

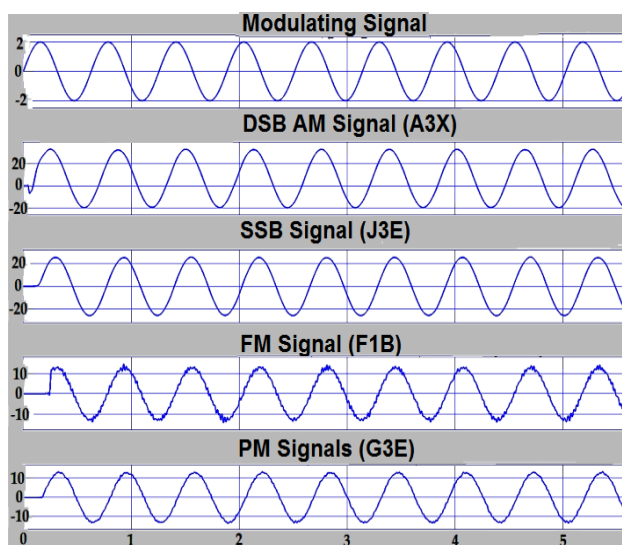
În figura 7.14 sunt prezentate rezultatele simulării ca urmare a folosirii schemei din figura 7.13, pentru diferite valori ale raportului semnal / zgomot (SNR) la portul de intrare al demodulatorului: (a) SNR = 20 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/2$; (b) SNR = 20 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/3$; (c) SNR = 10 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/3$; (d) SNR = 3 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/3$; (e) SNR = 0 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/3$; (f) SNR = -3 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/3$.

SNR = 20 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/2$



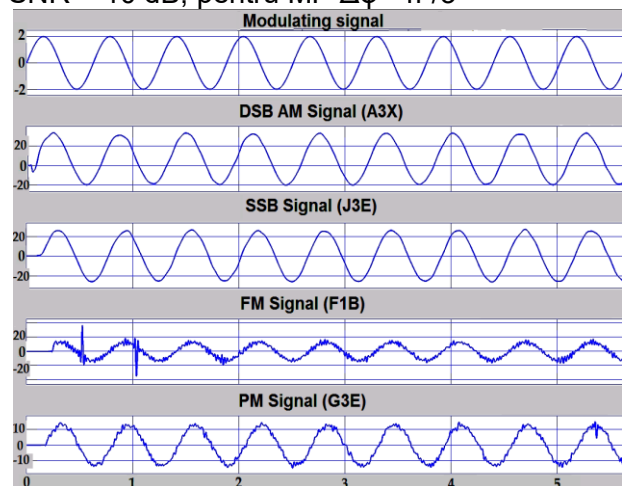
a)

SNR = 20 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/3$



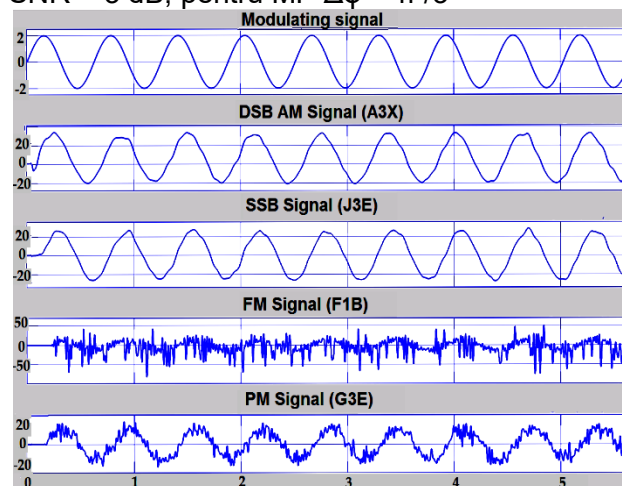
b)

SNR = 10 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/3$



c)

SNR = 3 dB, pentru MP $\Delta\phi = \pi/3$



d)

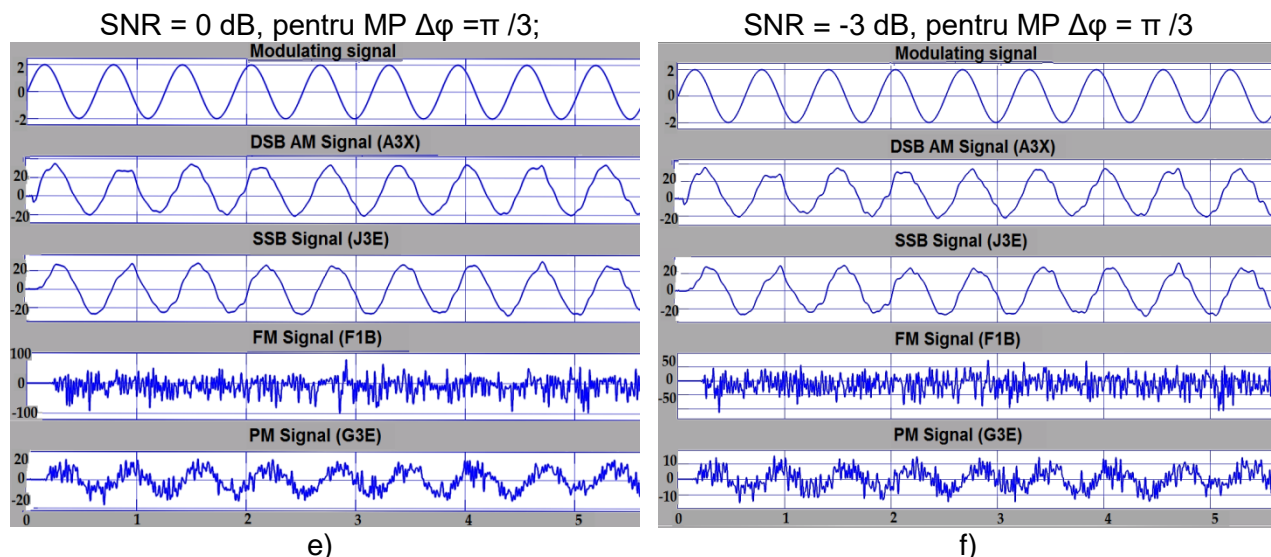


Figura 7.14 Rezultatele simulării ca urmare a folosirii schemei din figura 7.13

Tabelul 7.1 Situație comparativă între rezultatele obținute prin cele două metode adoptate și concluziile formulate în literatura tehnică de specialitate și referințele bibliografice

SNR	Clasele de emisie utilizate în comunic. de distress	Stabilitatea la perturbații		
		Concluziile analitice asupra FID	Concluziile simulării cu Matlab Simulink	Concluzii din literatura tehnică/referințe [39], [40], [41], [42]
>10 dB	A3X	Dependentă de indicele de modulație m și de puterea semnalului modulator normalizat $\overline{f^2(t)}$. Performanțele pentru $m < 1$ sunt sub F1B, J3E, dar peste G3E.	Foarte bună. Performanță similară cu J3E și mai mare decât F1B și G3E.	Bun. Conform [41] cea mai slabă performanță. Conform [42] performanțe conform J3E.
	F1B	Dependentă de raportul de deviație al frecvenței D și de puterea semnalului modulator normalizat $\overline{f^2(t)}$. Pentru valori mici ale lui D și $\overline{f^2(t)}$ performanțe sub J3E.	Foarte bună.	Foarte bună. Conform [39], [40], [41] cele mai bune performanțe.
	J3E	IFD = 1 - bună	Foarte bună.	Bună.
	G3E	Dependentă de panta modulatorului de fază K_{MG} și de puterea semnalului modulator normalizat $\overline{f^2(t)}$. Are performanțe peste J3E și A3X doar pentru valori mari ale K_{MG} și $\overline{f^2(t)}$.	Depinde de abaterea de fază; foarte bună pentru o abatere de fază = $\pi/3$.	Foarte bună. Conform [39], [41] și [42] performanță peste J3E și A3X.

3 -10 dB	A3X	N/A - am considerat că amplitudinea semnalului util este mai mare în raport cu zgomotul de cele mai multe ori	Foarte bună.	Bun doar pentru cazul de detecției coerente, inacceptabil pentru sistemul cu plic Detecție de anvelopă.
	F1B	N/A - am considerat că amplitudinea semnalului util este mai mare în raport cu zgomotul de cele mai multe ori	Inacceptabilă.	Foarte scăzută sub pragul SNR de 10 dB [21]. Poate fi îmbunătățită cu sisteme de preaccentuare/dezaccentuare [39], [40], [41], [42]. Conform [42] mai bună decât A3X și J3E.
	J3E	FID = 1 – bună pentru cazul utilizării detecției coerente.	Foarte bună.	Bună pentru cazul utilizării detecției coerente.
	G3E	N/A - am considerat că amplitudinea semnalului util este mai mare în raport cu zgomotul de cele mai multe ori.	Acceptabil pentru o abaterea de fază = $\pi/3$ (poate fi îmbunătățită prin utilizarea unor metode de procesare suplimentare).	Bună. Conform [42] mai bună decât F1B pentru majoritatea semnalelor practice.
0 -3 dB	A3X	Similar cu cazul 3 -10 dB.	Bună.	Inacceptabilă.
	F1B	Similar cu cazul 3 -10 dB.	Inacceptabilă.	Inacceptabilă [39].
	J3E	Similar cu cazul 3 -10 dB.	Bună.	Bună pentru cazul detecției coerente.
	G3E	Similar cu cazul 3 -10 dB.	Slabă/defectuoasă, poate fi îmbunătățit prin procesare suplimentară	Conform [42] mai bine decât F1B.
0-(-3) dB	A3X	Similar cu cazul 3 -10 dB.	Bună.	Inacceptabilă.
	F1B	Similar cu cazul 3 -10 dB.	Inacceptabilă.	Inacceptabilă.
	J3E	Similar cu cazul 3 -10 dB.	Bună.	Inacceptabilă.
	G3E	Similar cu cazul 3 -10 dB.	Inacceptabilă.	Inacceptabilă.

7.4 Analiza stabilității la perturbații a sistemelor de comunicații digitale (cu modulație digitală)

7.4.1 Evaluarea stabilitatea sistemelor de comunicații digitale în medii cu zgomot gaussian prin determinarea probabilității de apariție a erorilor la detecția semnalelor

O altă modalitate de evaluare a stabilității sistemelor de comunicații digitale în medii afectate de zgomote este de a determina probabilitatea de apariție a erorilor la detecția semnalelor.

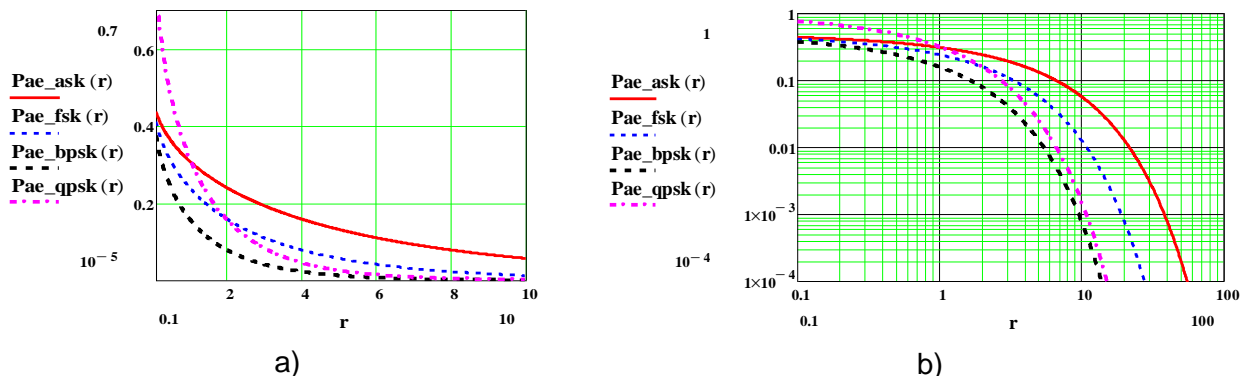


Figura 7.15 PAE în cazul folosirii sistemelor digitale ce folosesc semnale ASK, FSK, BPSK și QPSK în funcție de raportul $r = E_b / N_0$

7.4.2 Stabilitatea sistemelor de comunicații digitale în medii cu zgomot sub formă de impulsuri

Așa cum am arătat în subcapitolul 3.4 o sursă importantă de semnale perturbatoare în EME de la bordul unei nave militare îl constituie stațiile de radiolocație care lucrează în impuls. O altă sursă a acestui tip de EMI îl pot constitui și emițătoarele de bruijaj, în acest caz zgomotele de tip impuls fiind generate în mod intenționat (IEMI) cu scopul de a perturba / întrerupe comunicațiile radio.

Pentru a analiza stabilitatea comunicațiilor digitale la zgomote în impuls, considerăm EME de la bordul navei afectat de trenuri de impulsuri de zgomot alb, gaussian de bandă limitată, ce sunt emise periodic cu un coeficient de umplere $k_u = \frac{\tau}{T}$ (raportul dintre durata și perioada de repetiție, definit în subcapitolul 3.4.1).

În figura 7.16 sunt trasate curbele PAE datorate zgomotului în impuls pentru sistemele digitale în funcție de k_u pentru un raport $r_i = \frac{E_b}{N_{Zimp}} = 10$.

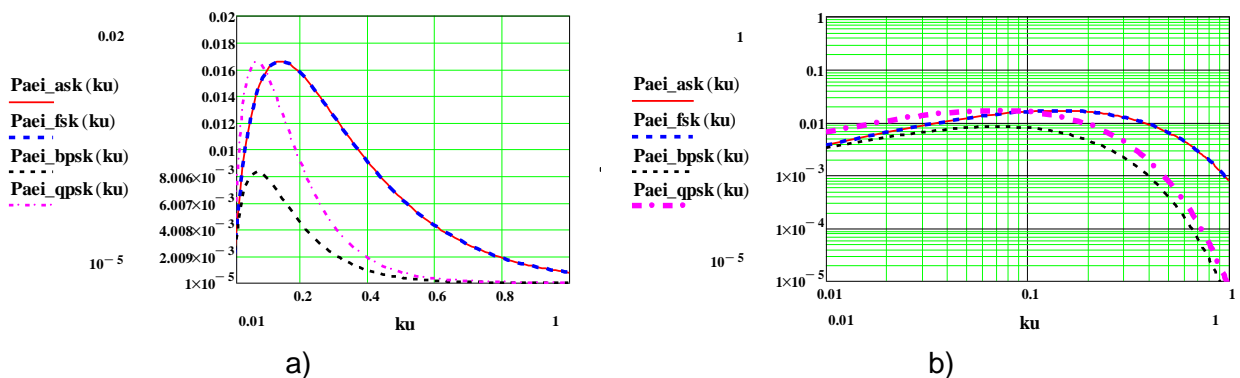
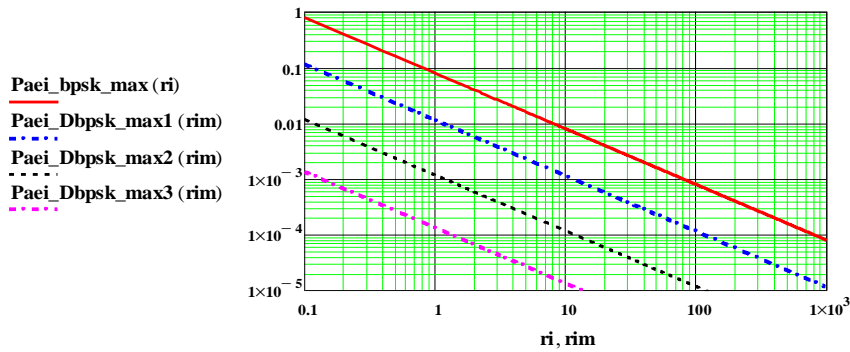


Figura 7.16 Curbele PAE datorate zgomotului în impuls în coordonate: a) liniare, b) logaritmice.

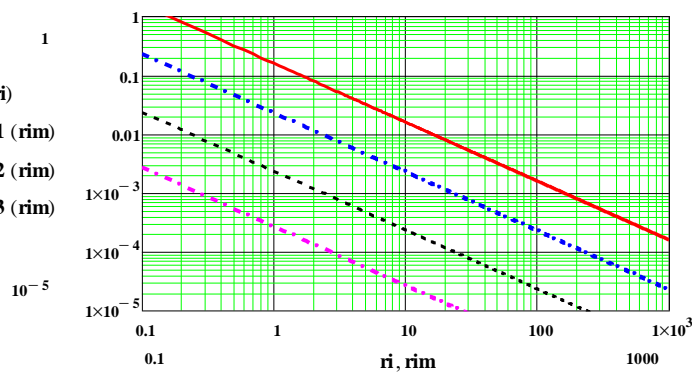
Din figura 7.16 se observă că și în acest caz cele mai rezistente sisteme de comunicație sunt cele de tipul BPSK dar că atât acestea cât și celelalte sisteme prezintă o degradare accentuată în jurul unei valori k_{uoptim} pentru care PAE devine maximă.

Sistemele de comunicații digitale cu spectru distribuit/ împrăștiat fac apel la mărirea benzii de transmisie pentru diminuarea PAE. În figura 7.17 sunt prezentate PAE la recepție în cazul prezenței zgomotului în impulsuri având un coeficient de umplere optimizat în vederea bruijajului pentru sistemele cu modulație digitală de tipul: a) BPSK și b) FSK, care au fost supuse unui proces de distribuire/împrăștiere a spectrului având diverse valori ale coeficientului de multiplicare K_m astfel: $Paei_bpsk_max(ri)$ și $Paei_fsk_max(ri)$ cu un coeficient $K_m = 1$ (fără împrăștiere/distribuire), $Paei_Dbpsk_max1(rim)$ și $Paei_DFsk_max1(rim)$ pentru $K_{m1} = 4$, $Paei_Dbpsk_max2(rim)$ și

$Paei_Dfsk_max2(rim)$ pentru $K_{m2} = 8$, respectiv $Paei_Dbpsk_max3(rim)$ și $Paei_Dfsk_max3(rim)$ pentru $K_{m3} = 12$.



a)



b)

Figura 7.17 PAE la recepție în cazul prezenței zgomotului în impulsuri având un coeficient de umplere optimizat în vederea bruiajului pentru sistemele cu modulație digitală de tipul: a) BPSK și b) FSK, care au fost supuse unui proces de distribuire/împrăștiere a spectrului

Comparând figura 7.17 a) cu figura 7.17 b) se poate observa că sistemele de comunicații digitale cu spectru împrăștiat care folosesc semnale BPSK sunt mai rezistente la semnale perturbatoare în impuls / bruiaj în impuls decât cele care folosesc semnale FSK. Diferența dintre cele 2 sisteme este de 3 dB pentru toate variantele de coeficient de împrăștiere K_m utilizate, adică, probabilitatea de apariție a erorilor este dublă în cazul utilizării FSK comparativ cu BPSK.

Chiar dacă semnalele BPSK sunt o subcategorie/subclasă a semnalelor PSK, conform celor demonstrate în capitolul 3 din teză, rezultă că semnalele BPSK sunt o formă de semnal MA-PS. Privind sub acest aspect, concluziile din acest subcapitol sunt în concordanță cu cele formulate în subcapitolul 7.3.

7.5 Stabilirea unui algoritm de calcul al marginilor de interferență pentru sistemele de radiocomunicații de la bordul navelor militare

În acest subcapitol /paragraf, plecând de la condiția de neinterferență prezentată în capitolul 2 din teză, am dezvoltat o relație pe care am denumit-o *relația de baza CEM pentru sistemele de radiocomunicații navale*. Aceasta poate fi folosită în cadrul unei analize CEM simplificate în vederea identificării principalelor tipuri de interferențe care pot apare între un RE și un RR. Astfel, am dezvoltat un algoritm simplu și eficient care, pe baza calculelor, identifică posibilitatea apariției de IEM funcționale, ca etapă inițială/ primară a unei analize CEM simplificată. De asemenea, am propus un algoritm de calcul pentru stabilirea măsurilor operaționale necesare în vederea evitării apariției IEM funcționale (calculul distanței de compatibilitate și al puterii maxime de emisie al RE). Pentru a obține relațiile de calcul s-a luat în considerare propagarea directă a undelor radio în spațiul liber.

Relațiile matematice obținute sunt simple, ușor de folosit iar în lipsa datelor tehnice pot fi folosite prescripțiile impuse de standardele NATO în vigoare.

La finalul paragrafului am prezentat două exemple practice. Din rezultatele obținute rezultă că, pentru evitarea IEM principal-principală, măsurile operaționale de creștere a distanței sau de reducere a puterii de emisie nu pot fi luate în considerare datorită atenuărilor de propagare mici la frecvențele de lucru analizate. De asemenea, din exemplul practic 2, rezultă o că un RE de putere mare poate perturba un RR chiar cele două echipamente nu lucrează pe aceeași frecvență de lucru, prin intermediul IEM principal – secundare și al IEM secundar-principale. Aceste tipuri de IEM pot fi evitate prin măsurile operaționale de creștere a distanței sau de scădere a puterii de emisie ce pot fi deduse prin algoritmi prezentați în acest subcapitol.

8. REZULTATELE MĂSURĂTORILOR DE CÂMP ELECTROMAGNETIC EFECTUATE PE O NAVĂ MARITIMĂ MILITARĂ

În acest subcapitol sunt prezentate o parte din măsurătorile pe care le-am efectuat la bordul unei nave militare de tip fregată.

Pentru efectuarea măsurătorilor s-au folosit următoarele echipamente: Analizor de spectru portabil Rohde & Schwarz FSP13 (1164.4391.13), Spectrum analyzer 9 kHz - 13 GHz, -140 - +30 dBm, RBW 10 Hz - 10 MHz, TFT color display.

În figura 8.1 sunt ilustrate zonele în care au fost efectuate măsurătorile de la bordul navei astfel: zona marcată cu 1 - puntea heliport la exterior, zona marcată cu 2 - e puntea artilerie la exterior zona marcată cu 3 - puntea comandă la exterior, zona marcată cu 4 - puntea comandă la interior.

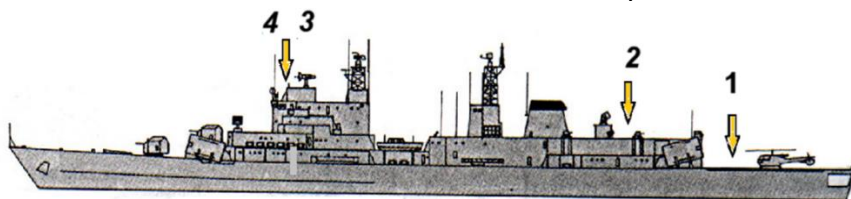


Figura 8.1 Ilustrarea navei și a punctelor de măsurare

Pe scurt, concluzii rezultate sunt:

1. Din măsurătorile efectuate la bordul navei rezultă că intensitatea câmpurilor electrice perturbatoare crește o dată cu înălțimea locului de măsurare.

2. Valoarea câmpurilor măsurate în puntea comandă la interior sunt comparabile cu cele măsurate pe puntea heliport la exterior.

3. Pentru măsurătorile efectuate cu diferite stații radio în emisie, s-a constatat că valorile intensității câmpului electric pe puntea heliport, în spațiu deschis, sunt mai mici decât valorile măsurate pe puntea de comandă, în spațiu închis.

4. Având în vedere punctele 2 și 3 rezultă importanța respectării tuturor normelor de CEM privind proiectarea, montarea, punerea în funcțiune și exploatarea pentru toată aparatura dispusă în puntea de comandă.

5. Având în vedere punctele 2 și 3, pentru diminuarea valorilor de câmp înregistrate în puntea comandă propunem adoptarea principiilor de construire a unei camere anechoice. În acest sens primul pas ar fi înlocuirea parților vitrate cu sticlă specială de tipul Combi-Shield precum și schimbarea modalităților de închidere a ușilor. De asemenea, propunem protejarea tuturor display-urilor aparaturii din comanda cu folie tip Combi-Shield.

6. Pentru a caracteriza eficiența ecranelor electromagnetice propunem să introducem o nouă dimensiune, și anume *atenuarea relativă a câmpului incident*. Această dimensiune trebuie utilizată mai ales atunci când măsurătorile nu sunt efectuate în laboratoare special echipate sau când nu putem asigura aceeași valoare a câmpului incident pe întreaga lățime de bandă analizată.

7. Analizând figurile 8.17 și 8.18 se constată că datele converg. Astfel, RA este mai mică în centrul domeniului de frecvență analizat și are o tendință descrescătoare în zona de frecvență mai mare. Prin urmare, este necesar să se efectueze un nou set de măsurători pentru a analiza dacă această tendință este menținută la frecvențe peste 3 GHz.

9. CONTRIBUȚII ORIGINALE ȘI PERSPECTIVE

Pentru realizarea aspectelor enumerate în paragraful anterior, mi-am început cercetarea pentru redactarea tezei cu studierea standardelor CEM militare și civile, a acelor emise de autoritățile în domeniile comunicațiilor, în special maritime, precum și istoricul și evoluția acestora și a organismelor responsabile de emiterea lor dar și a evenimentelor catalizatoare. De asemenea, am studiat modalitățile de abordare ale CEM precum și problemele și tendințele generate de costurile necesare producției, întreținerii și modernizării navelor militare.

➤ *Contribuție personală:*

- sintetizarea acestor informații în **capitolul 1** dar și expunerea prevederilor standardelor, în special cele NATO, asupra mărimilor și termenilor analizați pe parcursul tezei.

De asemenea, în cercetarea efectuată pentru redactarea tezei am analizat EME de la BNM, prezentată în **capitolul 2**. Un aspect care m-a ajutat deosebit în această analiză și clasificare a surselor de PEM de la BNM precum și a modalităților de cuplare a acestora a fost participarea mea în calitate de cercetător în cadrul Programelor Naționale CERES „*Reducerea amprentei magnetice a navei militare în scopul protecției împotriva câmpurilor de mine marine*” și „*Mijloace de protecție complexă la compatibilitatea electromagnetică, pe nave militare*” și a Programului National CEEEX „*Ecologie Electromagnetica – caracterizarea surselor, diagnosticarea efectelor, prevenirea și combaterea lor*”. De asemenea am analizat și principiile organizării comunicațiilor ce trebuie asigurate în timpul operațiunilor de căutare și salvare pe mare precum și a celor pe durata îndeplinirii misiunilor de luptă. Prezentarea termenilor a fost efectuată cu referire la definirea lor în standardele și legile în vigoare.

➤ *Contribuție personală:*

- sintetizarea și clasificarea surselor de PEM de la BNM, a puterii și frecvențelor de lucru precum și a modalităților de cuplaj și principiile organizării radiocomunicațiilor la BNM.

În **capitolul 3** cercetarea s-a axat pe studiul semnalelor reprezentative din EME de la BNM. Pentru simularea și prezentarea cât mai clară / explicită a formelor de undă, a DS și DSA a acestora am utilizat programul Mathcad și am conceput scheme în Matlab – Simulink. Cu această ocazie am putut verifica și corectitudinea relațiilor propuse în articolele / literatura de specialitate. Mai multe detalii se regăsesc în subcapitolul de concluzii 3.4.5.

➤ *Contribuții personale:*

- pentru trasarea formelor de undă a SA și FDS a semnalelor analizate am conceput și implementat în codul sursă din mediul de programare Mathcad și am conceput scheme în Matlab-Simulink, am ales și setat parametrii adecvați pentru blocurile folosite,

- am propus o relație de calcul a FDS pentru TRI,

- am propus și o modalitate de determinare a spectrului de frecvențe a principalelor tipuri de impulsuri de la BNM pe baza unui grafic centralizator conceput în Mathcad.

În **subcapitolul 4.1** am prezentat contribuțiile la modelarea câmpurilor magnetice de dispersie create de mașinile electrice rotative de curent alternativ dispuse la BNM. Formulele de calcul propuse sunt dublate / verificate prin măsurători ale ICM de dispersie generată de mașinile analizate. Mai multe detalii se regăsesc în subcapitolul de concluzii 4.1.3. Cercetarea efectuată în acest subcapitol a avut ca rezultat și articolul WOS/ISI [10].

➤ *Contribuții personale:*

- pe baza măsurătorilor am propus o nouă valoare de ajustare a coeficientului K din relația (4.2).

➤ *Perspectivă / direcții viitoare de cercetare:*

- coeficientul K trebuie verificat cu măsurători de câmp efectuate pe cât mai multe mașini electrice rotative.

În **subcapitolul 4.2** am prezentat modelarea câmpului magnetic de dispersie creat de un transformator monofazat și a câmpului de scăpări creat de o bobină cu miez având construcția de

tipul transformatorului monofazat în manta. Relațiile de calcul propuse sunt validate cu rezultate ale măsurătorilor. Variația componentelor ICM precum și variația acestora în funcție de distanță sunt prezentate în figuri obținute în Mathcad. Mai multe detalii în subcapitolul de concluzii 4.2.3. Cercetarea efectuată în acest subcapitol a avut ca rezultat și articolul WOS/ISI [43].

➤ *Contribuții personale:*

- conceperea și implementarea în codul sursă din mediul de programare Mathcad pentru reprezentarea componentelor ICM și a intensității totale a câmpului magnetic generate de un TMC,

- interpretarea datelor obținute,

➤ *Perspectivă /direcții viitoare de cercetare:*

- modelarea câmpului magnetic de dispersie creat și de alte tipuri de transformatoare și validarea prin măsurători.

În **subcapitolul 4.3** este prezentată modelarea globală a câmpului magnetic perturbator de dispersie într-un volum / compartiment dispus pe o navă. Pentru validarea relațiilor propuse am introdus date obținute prin măsurători. Algoritmii pe care i-am propus pot fi folosiți în orice fel de incintă în care avem surse de câmp magnetic (de dispersie) și în care trebuie introduse noi dispozitive susceptibile sau pentru a identifica rutele optime ale cablurilor de semnal, comandă sau control, cum ar fi spațiile industriale sau exploatările miniere subterane. Cercetarea efectuată în acest subcapitol a avut ca rezultat și articolul WOS/ISI [44].

➤ *Contribuții personale:*

- am propus un algoritm pentru trasarea unei hărți a ICM de dispersie cu indicarea punctului / punctelor de minim pe care l-am implementat în mediul de programare Matlab folosind pachetul de calcul „Symbolic Math Toolbox”. Rezultatele prezentate sunt pentru 9 respectiv 20 pași de discretizare.

- compararea datele obținute cu valorile impuse de standardele în vigoare,

- am identificat și indicat zonele în care valorile ICM sunt în limitele impuse.

În *subcapitolul 4.4* am prezentat calculul ICM produs de conductoarele parcurse de curent electric și am realizat o comparație între ICM radiate de un CLF, o LBF și o LBI în funcție de lungimea conductoarelor, a distanței dintre ele și a valorii curenților care le parcurg, arătând situațiile pentru care valorile ICM radiate cresc. Astfel, am efectuat și o ierarhizare a acestora în funcție de ICM radiat de către aceste tipuri de conductoare. De asemenea, am arătat că ICM radiat de către o LBF scade o dată cu scăderea distanței dintre conductoare. În exemplele analizate, am ales lungimea de 8 m deoarece, așa cum rezultă din comparația dintre ICM radiată de către o LBF și o LBI din figura 4.21, rezultă că la lungimi mai mari de 8 m ICM radiate devin comparabile, iar la lungimi mai mari de 16 m ICM radiate de către LBF și LBI sunt egale, de aici rezultând și recomandările pe care le-am efectuat. Mai multe detalii în subcapitolul de concluzii și contribuții 4.4.3.

➤ *Contribuții personale:*

- am conceput și implementat în codul sursă din mediul de programare Mathcad pentru reprezentarea componentelor ICM radiate de către conductoarele analizate,

- realizarea comparației ICM radiate, formularea concluziilor și recomandărilor.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- din studierea valorilor măsurate ale ICM radiate de către un sistem de 3 conductoare parcurse de curenți defazați între ei cu $\pi/3$ pe care le-am avut la dispoziție, a rezultat o atenuare a ICM în funcție de distanță cu *puterea* $3/2$ similară cu cea a mașinilor electrice rotative și evident diferită de cea a CLF / LBF / LBI pe care le-am prezentat în teză. Prin urmare, o direcție de cercetare / dezvoltare este modelarea ICM radiat de către un sistem de 3 conductoare parcurse de curenți defazați între ei cu $\pi/3$ și compararea datelor cu cele pe care le-am prezentat în prezenta teză pentru conductoare și mașinile electrice rotative.

În **subcapitolul 4.5** am prezentat modelarea câmpului electromagnetic produs de un conductor de lungime finită comparabilă cu lungimea de undă a curentului care-l străbate prin analizarea celor două cazuri extreme, conductor parcurs de undă progresivă și conductor străbătut de undă staționară. Figurile prezentate pentru diferite lungimi de undă sunt obținute în Mathcad și în MATLAB – Antenna Design cu prezentarea concluziilor și a diferențelor dintre cele două. De asemenea, în programul de simulare „MATLAB – Antenna Design” am analizat efectul pe care îl are suprafața conductoare a punții metalice asupra CAD. Astfel am demonstrat că devine important și

modul de conectare al conductoarelor / feederilor la carcasa metalice ale aparatului instalate la BNM, cel mai defavorabil caz fiind atunci când orificiile pentru ventilație sunt plasate deasupra cablurilor de legătură. Mai multe detalii în subcapitolul de concluzii 4.5.4.

➤ *Contribuții personale:*

- am conceput și implementat în codul sursă din mediul de programare Mathcad Mathcad și „MATLAB – Antenna Design” a datelor pentru reprezentarea câmpurilor EM radiate de către conductoarele analizate,

- compararea rezultatelor obținute și formularea concluziilor și recomandărilor.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- verificarea datelor obținute în laboratoare specializate.

În **subcapitolul 4.6** am prezentat contribuțiile aduse la analiza efectelor IEMI asupra SCBNM în care am acordat o atenție specială HEMP /EMP.

➤ *Contribuții personale:*

- am efectuat o amplă cercetare a documentației în domeniu (inclusiv rapoartele către Congresul SUA ale Comisiei HEMP) pe baza cărora am efectuat o sinteză asupra problematicei folosirii acestor tipuri de armă / amenințări la nivel mondial, asupra producerii și asupra efectelor acestora precum și a principalelor măsuri de protecție ce trebuie adoptate,

- am conceput și implementat în codul sursă din mediul de programare Mathcad formele de undă și DSA ale HEMP,

- am efectuat o simulare a curenților induși într-un cablu coaxial de către IEMI / HEMP și a EMI funcționale cu ajutorul *software-ului Ansys HFSS*. Testarea am efectuat-o până la frecvența de 10 GHz pentru că și IEMI produse de generatoarele speciale de microunde au astfel de frecvențe. Valorile curenților induși au valori foarte ridicate, sunt prezentate în tabelul 4.1, și chiar dacă nu duc la distrugerea cablului, pot produce tensiuni perturbatoare importante prin conversia de MC – MD.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- studierea impactului pe care îl au astfel de IEMI asupra aparatului dispuse în special la exteriorul navei și pe puntea de comandă prin simularea fizică în laboratoare specializate a acestor tipuri de IEM pentru identificarea soluțiilor de protecție adecvate ce trebuie adoptate.

În **capitolul 5** am prezentat modalitățile de cuplaj și măsurile antiperturbative aferente. Pentru o mai mare coerență, concluziile desprinse ca urmare a relațiilor prezentate și a figurilor aferente au fost formulate cât mai aproape de acestea pe parcursul capitolului precum și în subcapitolul final de concluzii 5.4. Ca urmare a acestor concluzii am prezentat și principalele măsuri antiperturbative.

➤ *Contribuții personale:*

- am conceput și implementat în codul sursă din mediul de programare Mathcad Mathcad pentru reprezentarea variației mărimilor analizate pentru înțelegerea fenomenului, identificarea măsurilor CEM adecvate și formularea recomandărilor.

În **capitolul 6** am prezentat și analizat principalele caracteristici CEM ale RE, RR și ale canalului de propagare. Aceste caracteristici sunt folosite în analizele efectuate în capitolele 7 și 8. De asemenea, am prezentat și limitele impuse de standardele militare și civile în vigoare acestor caracteristici.

➤ *Contribuții personale:*

- studierea unui volum mare literatură de specialitate, sintetizarea principalelor caracteristici / termeni CEM ale RE și RR și expunerea prevederilor standardelor asupra caracteristicilor și termenilor prezentați.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- modelarea și măsurarea acestor parametri / caracteristici ale aparatului instalate la BNM și compararea datelor cu prevederile standardelor. Evident, rezultatele și concluziile vor deveni informații clasificate.

În **subcapitolul 7.1** am prezentat contribuțiile aduse la analiza efectelor IEM co-canal și pe canal adiacent asupra etajelor de intrare într-un RR care se datorează efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate. În subcapitolele 7.1.3 și 7.1.4 am prezentat două metode de analiză a efectelor neliniarităților caracteristicilor dispozitivelor electronice asupra semnalelor prelucrate: metoda descompunerii în ST și metoda descompunerii în

SF. Cercetarea efectuată în acest subcapitol a avut ca rezultat articolele [45], [46] și articolul *BDI* [47].

➤ *Contribuții personale:*

- am arătat că forma semnalului la ieșirea unui ATBEC este distorsionată chiar dacă peste semnalul util se suprapun alte semnale de valoare mult mai mică decât cea a semnalului util și care, luate individual nu ar afecta forma acestuia, prin concepere și implementarea în codul sursă din mediul de programare Mathcad,
- în subcapitolul 7.1.6 am prezentat, în mod original, o comparație între cele două metode de analiză pe baza rezultatelor obținute în mediul de programare Mathcad,
- am explicat într-o manieră originală funcționarea etajelor de amplificare inclusiv a ARFP care lucrează în clasă C în funcție de rezultatele analizei propuse.
- am propus, în subcapitolul 7.1.7 o soluție pentru diminuare a efectelor neliniare și a intrării în saturație a etajelor de amplificare dispuse la intrarea într-un RR bazate pe seria de puteri inversă în care compensarea se introduce prin realizarea unei bucle de reacție negativă, similară sistemelor automate.
- am conceput o schemă de simulare în Matlab-Simulink pentru verificarea eficacității soluției propuse în subcapitolul 7.1.7; această schemă poate fi folosită și pentru protejarea la bruiaj și interceptare a dronelor.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- realizarea unei reacții negative bazată pe o descompunere a semnalelor în SF și compararea eficacității celor două variante,
- pe baza unui comparator de prag setat pe frecvența unei armonici superioare, RR să comute automat pe un alt canal de recepție/frecvență de lucru secundară sau, în cazul dronelor de recunoaștere, să inițieze un program de întoarcere la bază.

În **subcapitolul 7.2** am prezentat contribuțiile aduse la studiul interferențelor co-canal și al stabilității oscilatoarelor locale asupra calității prelucrării semnalelor recepționate în care am ales pentru analiză tipul de modulație MA-PS. Am ales acest tip de modulație pentru că, așa cum am demonstrat în subcapitolul 7.3, aceasta oferă sistemelor de comunicație care o folosesc cel mai ridicat nivel de rezistență la semnale perturbatoare. Cercetarea efectuată a avut ca rezultat și articolul *WOS/IS* [48].

➤ *Contribuții personale:*

- am conceput scheme în Matlab-Simulink, am ales și setat parametrii adecvați pentru blocurile folosite în vederea verificării rezultatelor teoretice,
- am formulat concluziile și observațiile.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- verificarea și în alte medii de simulare a rezultatelor și concluziilor formulate sau chiar fizic în laborator, pe RR care folosesc acest tip de semnale.

În **subcapitolul 7.3** am prezentat contribuții la studiul rezistenței la perturbații a principalelor tipuri de sisteme de comunicații la bordul navelor militare utilizate în timpul misiunilor de căutare și salvare pe mare. Cercetarea efectuată a avut ca rezultat și articolul *WOS/IS* [49].

➤ *Contribuții personale:*

- am efectuat o amplă cercetare a documentației în domeniu căutării și salvării pe mare, pentru sintetizarea modurilor de lucru / tipurilor de modulație, a frecvențelor și aparaturii ce trebuie folosite în mod obligatoriu în astfel de situații,
- pentru verificarea considerațiilor teoretice aferente claselor de emisie analizate, am conceput și implementat în codul sursă din mediul de programare Mathcad Mathcad și am conceput scheme în Matlab-Simulink, am ales și setat parametrii adecvați pentru blocurile folosite,
- formularea și centralizare concluziilor și observațiilor sintetizate în tabelul 7.3.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- verificarea și în alte medii de simulare a rezultatelor și concluziilor formulate sau chiar fizic în laborator, pe RR care folosesc acest tip de semnale.

În **subcapitolul 7.4** am prezentat o analiză a stabilității la perturbații a sistemelor de comunicații digitale (cu modulație digitală) în medii cu zgomot alb gaussian precum și în medii cu

zgomote în impuls specifice IEMI (bruiajului). Concluziile formulate pe baza graficelor comparative trasate în Mathab sunt prezentate în subcapitolul 7.4.3.

➤ *Contribuții personale:*

- conceperea și implementarea în codul sursă din mediul de programare Mathcad pentru reprezentarea variației mărimilor analizate pentru înțelegerea fenomenului și identificarea tipului de modulației folosită în comunicațiile digitale care prezintă cea mai mare rezistență la aceste tipuri de semnale perturbatoare,

- deducerea coeficientului de umplere optim k_{uoptim} ce trebuie folosit de către stațiile de bruiaj pentru o eficiență maximă a bruiajului asupra semnalelor ASK și FSK precum și ai celor pentru stațiile de bruiaj pentru comunicații cu spectru distribuit ce folosesc acest tip de semnale.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- verificarea și în alte medii de simulare a rezultatelor și concluziilor formulate sau chiar fizic în laborator. Este evident că rezultatele obținute fizic devin informații clasificate.

În **subcapitolul 7.5** am prezentat un algoritm de calcul al marginilor de interferență pentru sistemele de radiocomunicații de la bordul navelor militare cu exemple practice de calcul pentru stații radio aflate în dotarea FNR din care rezultă și soluții pentru evitarea apariției EMI. Tema de cercetare din acest subcapitol a avut ca rezultat articolul WOS/ISI [6].

➤ *Contribuții personale:*

- am conceput algoritmul de calcul și l-am aplicat pe exemple de RE și RR folosite în FNR cu adoptarea cerințelor standardelor NATO,

- am identificat și formulat, pe baza rezultatelor din calcule ale algoritmului soluții de compatibilizare.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- dezvoltarea algoritmului și pentru o analiză CEM detaliată,

- aplicarea algoritmului la forma propusă dar cu date reale rezultate pe baza măsurătorilor efectuate pe stații fizice existente în dotarea FNR și verificarea acestora la BNM. Evident, aceste date devin informații clasificate.

În **capitolul 8** sunt prezentate rezultatele măsurătorilor de câmp electromagnetic efectuate pe o navă maritimă militară. O bună parte din rezultatele măsurătorilor efectuate la bordul navei nu pot fi publicate în prezenta teză, fiind informații clasificate. Concluziile sunt prezentate în subcapitolul 8.8, cercetarea având drept rezultat articolul WOS/ISI [50].

➤ *Contribuții personale:*

- am contribuit la organizare și efectuarea măsurătorilor la BNM,

- am contribuit la sortarea, trasarea graficelor și la interpretarea datelor,

- am propus introducerea unei mărimi noi numită *atenuarea relativă raportată la a câmpul incident*, sau pe scurt *atenuarea relativă a câmpului incident*, necesară pentru a analiza eficient performanțele ecranului în condiții reale de măsurare.

➤ *Direcții de dezvoltare:*

- efectuarea măsurătorilor de câmp pe toate navele din dotarea FNR cel puțin la nivelul pe care l-am efectuat eu și cu colectivul de cercetători cu care am făcut parte în programele de cercetare enumerate la începutul capitolului.

10. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE

Pe parcursul subcapitolului 9.2 am prezentat punctual perspectivele și direcțiile viitoare de cercetare la temele de cercetare pe care le-am abordat pentru elaborarea prezentei teze de doctorat. Domeniul CEM la BNM se întrepătrunde și cu domeniul militar al războiului electronic, domeniu în care am activat. Din acest punct de vedere perspectivele și direcțiile viitoare de cercetare sunt nenumărate mai ales în condițiile existenței unui conflict militar la granițele țării.

În continuare voi enumera câteva teme de cercetare și acțiuni care pot decurge din prezenta teză în ansamblul ei:

1. Accesarea unui grant / program de cercetare pe baza căruia specialiștii din FNR și din alte instituții de învățământ și cercetare din țară să poată elabora la final un „*Ghid de bune practici CEM la bordul navelor militare*” care va trebui obligatoriu respectat atât de către personalul de la BNM cât și de către personalul șantierelor navale și firmelor colaboratoare atunci când navele intră în reparații

sau în programe de modernizare. De asemenea, un astfel de ghid poate fi folosit încă din etapa de concepere și proiectarea a navei sau la întocmirea unui caiet de sarcini în cazul în care se dorește achiziția unei nave noi / second hand. Pot afirma că în prezenta teză am conceput mai multe recomandări care pot fi trecute într-un astfel de ghid. Consider redactarea unui astfel de ghid ca fiind prioritară.

2. Accesarea unui grant / program de cercetare care să aibă ca obiectiv determinarea nivelelor de emisie pentru toate sursele de câmp de la bordul navelor propuse să rămână în dotarea FNR. Pe baza acestor valori pot fi trasate hărți ale ICM radiat pe baza algoritmului propus în această teză care să fie folosit pentru determinarea traseelor de cabluri și a configurației echipamentelor la intrarea navelor militare în programele de modernizare. De asemenea, în cazul în care se constată că poziția / configurația actuală a echipamentelor și traseelor de cabluri poate duce la apariția unor grave probleme CEM trebuie propuse urgent măsuri de remediere.

3. Inițierea unui program (evident militar) de cercetare pentru determinarea celor mai eficiente metode (inclusiv din punct de vedere economic) de bruiere și crearea a țintelor false pentru dronele aeriene și cele maritime de suprafață și subacvatice. În acest program trebuie determinate inclusiv metode eficiente de identificare a coeficientului de umplere optim k_{uoptim} descris și analizat în subcapitolul 7.4.2 atunci când pentru controlul dronelor sunt folosite comunicațiile digitale.

4. Inițierea unui program național de cercetare care să identifice dacă sistemele critice civile și militare sunt suficient de bine protejate la amenințările de tip IEMI / HEMP pe care le-am descris și analizat în subcapitolul 4.6. Având în vedere că din documentele studiate rezultă că anumite state „neprietene” au pregătite scenarii de folosire a unei arme HEMP astfel încât să afecteze preponderent zona Atlanticului de Nord, a Europei de Vest și Centrale se impune ca acest program să fie desfășurat la nivel UE sau NATO.

11. CONCLUZII GENERALE

Problematika CEM a unui sistem de comunicații de la bordul unei nave militare este una extrem de vastă iar cuprinderea în totalitate a acesteia într-o singură lucrare constituie o sarcină extrem de dificilă dacă nu, chiar utopică. La fel putem spune și despre identificarea în totalitate a soluțiilor de compatibilizare. Ca în toate domeniile, și în acest domeniu nu există o soluție general valabilă / panaceu universal. Pentru preîntâmpinarea problemelor de CEM ale unui SCBNM sau la bordul navei militare în ansamblul ei, măsurile trebuie luate încă din faza de definire a sistemului și trebuie continuate și în fazele următoare ale existenței acestuia, inclusiv în fazele operaționale de exploatare, reparații și modernizare. Un rol important îl are de asemenea pregătirea echipajului navei și a tehnicienilor din șantierul naval și firmelor colaboratoare în înțelegerea, adoptarea și mai ales în aplicarea corectă a regulilor și principiilor CEM. Neluarea în considerare la momentul potrivit a acestora poate duce ulterior la costuri de remediere foarte mari sau chiar la catastrofe, așa cum am arătat și în capitolul 1. Bineînțeles că și luarea acestor măsuri duce inevitabil la creșterea costurilor. De aceea, o analiză CEM cât mai corect efectuată poate duce la adoptarea celor mai eficiente măsuri de compatibilizare cu costuri minime.

Prin prisma acestor aspecte, în această teză de doctorat am încercat să îmbin abordarea așa zis tradițională CEM bazată strict pe impunerea și respectarea standardelor cu o abordare flexibilă bazată pe analiza EME de la bordul navei, a riscurilor care pot apărea, a mecanismelor de cuplaj și identificarea unor soluții adecvate de compatibilizare în modul și locul care implică costurile minime (la sursa de PEM, la calea / modalitatea de cuplaj sau la susceptori/victimă). Această abordare se impune a fi adoptată și în cadrul FNR deoarece navele din dotarea acesteia intră periodic în programe de modernizare prin care se introduc noi sisteme electrice și electronice fabricate pe baza ultimelor standarde în domeniu într-un EME generat de sisteme fabricate pe baza unor standarde care au fost deja modificate sau care nu mai sunt în vigoare. Mai mult, ultimele nave achiziționate (din Marea Britanie) sunt nave second-hand care vor intra și ele tot în programe periodice de modernizare.

Un alt aspect deosebit de important care trebuie avut în vedere și pe care l-am abordat pe parcursul acestei teze, este acela de a identifica modurile de lucru / tipurile de modulație care prezintă cel mai ridicat nivel de imunitate la semnale perturbatoare atât de tipul EMI cât și IEMI

(HEMP, EMP sau bruij) pe timpul misiunilor încredințate, fie că sunt misiuni de căutare – salvare, dragare / distrugere mine sau misiuni de luptă, deoarece succesul acestora este dat de buna comunicare atât între navele participante la misiune, navele /structurile de sprijin cât și cu structurile de comandă.

12. LISTĂ LUCRĂRI PUBLICATE ȘI PREZENTATE

12.1 Publicații în reviste cotate Web of Science

1. Titlu: *The results of the electromagnetic field measurements performed on a military maritime ship to determine the effectiveness of a radio-absorbent material*, Autori: **Solcanu, V**; Sotir, A; Găiceanu, M; Samoilescu, G; Constantinescu, M, Book Group Author(s): IEEE, Engineering DOI: 10.1109/iseee48094.2019.9136151 Published: 2019, Accession Number: WOS:000614815800049, ISSN: 2378-3907, ISBN: 978-1-7281-2906-8
2. Titlu: *Interference Challenges on board Military Ships*, Autori: **Solcanu, V**; Găiceanu, M; Solomon, M; Book Group Author(s): IEEE, Engineering DOI: 10.1109/iseee48094.2019.9136128; Published: 2019, ISSN: 2378-3907; ISBN: 978-1-7281-2906-8, Accession Number: WOS:000614815800028;
3. Titlu: *Intelligent Management of the Hot Rolling Mill Influence of the Automation System on Hot Rolling Parameters*, Autori: Solomon, M; Găiceanu, M; **Solcanu, V**, Book Group Author(s): IEEE, Engineering DOI: 10.1109/iseee48094.2019.9136105 Published: 2019 , Accession Number: WOS:000614815800006, ISSN: 2378-3907, ISBN: 978-1-7281-2906-8
4. Titlu: *Global Modeling of the Leakage Magnetic Field in a Volume of Interest on a Military Ship (Ship Compartment)*; Autori: **Solcanu, V**; Găiceanu, M; Constantinescu, M; Bordianu, A; Samoilescu, G ; Sotir, A; Book Group Author(s): IEEE; DOI: 10.1109/ISFEE51261.2020.9756176 Published: 2020 ; Accession Number: WOS:000812321500045; ISBN: 978-1-7281-9038-9
5. Titlu: *Basic Electromagnetic Compatibility Equation for Radio Communication Systems on Board Military Ships*; Autori: **Solcanu, V**; Găiceanu, M; Constantinescu, M; Bordianu, A; Samoilescu, G; Sotir, A; Book Group Author(s): IEEE; DOI: 10.1109/ISFEE51261.2020.9756183 Published: 2020; Accession Number: WOS:000812321500052; ISBN: 978-1-7281-9038-9.
6. Titlu: *Applications of the Asynchronous Motor in the Anchoring Installation - Simulation and Advantages*; Autori: Iorgulescu, D; Samoilescu, G; **Solcanu, V**; Balaceanu, M; Barbulescu, C; Bordianu, A; Book Group Author(s): IEEE; DOI: 10.1109/ISFEE51261.2020.9756133 Published: 2020; Accession Number: WOS:000812321500003; ISBN: 978-1-7281-9038-9
7. Titlu: *Study of Resistance to Disturbances of the Main Types of Communication Systems on Board Military Ships Used during Interception or Search and Rescue Missions*; Autori: **Solcanu, V**; Găiceanu, M; Rosu, G;; Source: INVENTIONS Volume: 6 Issue: 4 Article; Number: 72 DOI: 10.3390/inventions6040072 Published: DEC 2021; Accession Number: WOS:000737626100001; eISSN: 2411-5134
8. Titlu: *The Simulation of the Electric Discharges and the Effects of the Field on the Electronic Equipments and on the Human Factor on the Ship*, Autori: Samoilescu, G; Sotir, A; (...); **Solcanu, V**, Sursa: REVUE ROUMAINE DES SCIENCES TECHNIQUES-SERIE ELECTROTECHNIQUE ET ENERGETIQUE, Apr-jun 2008 53 (2) , pp.179-189

12.2 Publicații în volume indexate Web of Science / ISI Proceedings

1. Publicare capitol carte la Editura Springer: Capitolul „*Intrusion Detection on ICS and SCADA Networks*” din cartea „*Recent Developments on Industrial Control Systems Resilience*”, Marian Găiceanu, Marilena Stănculescu, Paul Cristian Andrei, **Vasile Solcanu**, Theodora Găiceanu,

Horia Andrei, Editura Springer, 2019, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-31328-9>
DOI: 10.1007/978-3-030-31328-9_10, https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073190711&doi=10.1007%2f978-3-030-31328-9_10&partnerID=40&md5=f4e319e16ac072f5deae6bd3799f95c6

2. Publicare capitol carte la Editura Springer: Capitolul „*Advanced Numerical Methods Based on Optimization*” din cartea „*Advanced Numerical Methods Based on Optimization*”, Marian Găiceanu, **Vasile Solcanu**, Theodora Găiceanu, Iulian Ghenea, (2021) Power Systems, pp. 185 - 233, <https://www.springerprofessional.de/en/advanced-numerical-methods-based-on-optimization/18991534>, DOI: 10.1007/978-3-030-62191-9_8
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85103296847&doi=10.1007%2f978-3-030-62191-9_8&partnerID=40&md5=5b2ee4fe869ef43ef0dbdc6733300b49
3. Publicare capitol carte la Editura Springer: Capitolul „*Numerical Methods of Electric Power Flow in Interconnected Systems*” din cartea „*Numerical Methods for Energy, Applications*”, Marian Găiceanu, **Vasile Solcanu**, Theodora Găiceanu, Iulian Ghenea, (2021) Power Systems, pp. 901 -933, <https://www.springerprofessional.de/en/numerical-methods-of-electric-power-flow-in-interconnected-syste/18991518>, DOI:10.1007/978-3-030-62191-9_33,
https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85103234198&doi=10.1007%2f978-3-030-62191-9_33&partnerID=40&md5=aeed7f81aa8bf3533299acdf78244da3

12.3 Publicații în reviste indexate (BDI)

12.3.1 Scopus

1. Titlu: „*Modeling of Dispersion Magnetic Fields Developed by the Main Electromagnetic Systems Used on Military Ships*”, Autori: **V. Solcanu**, M. Găiceanu, M. Constantinescu, Ghe. Samoilescu, A. Sotir; Publicat în „The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty” published by Sciendo, DOI: <https://doi.org/10.2478/sbeef-2020-0109>
2. Titlu: „*Modeling of the Dispersion Magnetic Fields for the Single-Phase Transformers*”, Autori: **V. Solcanu**, M. Găiceanu, M. Constantinescu, Ghe. Samoilescu, A. Sotir, Publicat în „The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty” published by Sciendo: DOI: <https://doi.org/10.2478/sbeef-2020-0111>

12.3.2 EBSCO, DOAJ, ProQuest, IndexCopernicus,

1. Titlu: „*The method of compensating non -linear effects due to disturbing signals in the military operations theatres*”, Autori: **Vasile Solcanu**, Marian Găiceanu, Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Resita. Fascicula de Inginerie Vol. 26, No. 1 (2019), pag. 213-220, ISSN 1453 - 7397, 2019, <http://anale-ing.uem.ro/2019.html>;

12.4 Participare în echipele proiectelor de cercetare-dezvoltare / granturilor de cercetare câștigate de conducătorii de doctorat din domeniul evaluat

1. Membru in cadrul colectivului de cercetare (prin concurs <https://www.ugal.ro/anunturi/finantari-proiecte/7973-rezultate-finale-concurs-proiect-heet-ii>), cu funcția de Asistent de cercetare în cadrul proiectului de cercetare HEET II, cu titlul: „*Innovative high efficiency power system for machines and devices, increasing the level of work safety in underground mining excavations*” finanțat din fonduri europene nerambursabile, contract de finanțare Grant Agreement nr. 899469/2020. Contract individual de munca nr.12307 / 03.08.2020 pe durată determinată, cuprinsă între 05.08.2020 si 30.06.2023 (34 luni si 26 zile).

2. Membru in cadrul Programului Național CEEEX 2005: *“Ecologie Electromagnetica – caracterizarea surselor, diagnosticarea efectelor, prevenirea si combaterea lor”*, cu funcția de cercetător, în perioada 2005 – 2008.
3. Membru in cadrul Programului Național CERES: *“Mijloace de protecție complexă la compatibilitatea electromagnetă, pe nave militare”* cu funcția de cercetător, în perioada 2004 - 2006.
4. Membru in cadrul Programului Național CERES: *„Reducerea amprenteii magnetice a navei militare în scopul protecției împotriva câmpurilor de mine marine”* cu funcția de cercetător, în perioada 2003 – 2005.

12.5 Alte lucrări elaborate și/sau publicate în domeniile programului de cercetare al tezei de doctorat

1. *Dipoli electrici pentru măsurători de CEM*, Buletinul științific al Academiei Navale „Mircea cel Bătrân” Constanța Nr. 2/2001, (coautor)
2. *Pământ și masă*, Buletinul științific al Academiei Navale „Mircea cel Bătrân” Constanța Nr. 2/2001, (coautor)
3. *Ecranarea antiperturbativă, soluție eficientă în compatibilitatea electromagnetă*, Buletinul științific al Academiei Navale „Mircea cel Bătrân” Constanța Nr. 3-4/2001,(coautor)
4. *Evaluarea globală a câmpului magnetic perturbator creat de sistemele electromagnetice*, Buletinul științific al Academiei Navale „Mircea cel Bătrân” Constanța Nr. 3-4/2001, (coautor)
5. *„The Dynamic – Statistical Analysis of Correlations between the Electromagnetic Disturbances and the Computers on Board”*, A – XXXIII- a sesiune de Comunicări Științifice cu participare Internațională, Agenția de Cercetare pentru Tehnologii Militare, mai 2002, București, (coautor)
6. *„Evaluarea globală a câmpului magnetic perturbator creat de sistemul electromagnetic”*, A – XXXIII- a sesiune de Comunicări Științifice cu participare Internațională, Agenția de Cercetare pentru Tehnologii Militare, mai 2002, București, (coautor)
7. *„Unda electromagnetică în apa de mare și ecranarea câmpurilor nestăționare”*, A – XXXIII- a sesiune de Comunicări Științifice cu participare Internațională, Agenția de Cercetare pentru Tehnologii Militare, mai 2002, București, (coautor)
8. *„Metode pentru mărirea randamentului transportului energiei prin cabluri”*, A – XXXIII- a sesiune de Comunicări Științifice cu participare Internațională, Agenția de Cercetare pentru Tehnologii Militare, mai 2002, București, (coautor)
9. *„Un modelation dynamique – statistique du comportement des ordinateurs electromagnetiques aux perturbation electromagnetiques”*, A – II – a Conferință Internațională de Inginerie Electrică și Energetică - EPE 2002, Nov. 2002, (coautor)
10. *„Unele aspecte ale interferențelor electromagnetice perturbatoare”*, Sesiunea Jubiliară Internațională „130 ani de Învățământ de Marină” Academia Navală „Mircea cel Bătrân” Constanța, Nov. 2002, (coautor),
11. *„The Problem of the Electromagnetic Interference on Board of the Maritime Ship”*, The 34rd International Scientific Symposium of the Military Equipment and Technologies Research Agency, Bucharest, , Mai 29-30, 2003, (coautor)
12. *„The Evolution of the Electric Potential when filling a Supply Tank With Oil Products”*, The 34rd International Scientific Symposium of the Military Equipment and Tehnology Research Agency, Bucharest, May 29-30 2003, (coautor)
13. *„Coils of the Magnetic Compensation Set of the Floating parts of the Ship”*, The 34rd International Scientific Symposium of the Military Equipment and Tehnology Research Agency, Bucharest, May 29-30 2003, (coautor)
14. *„Particularități ale producerii și utilizării energiei electrice la navele maritime”*, a XXX - a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională TEHNOLOGII MODERNE ÎN SECOLUL XXI, Academia Tehnică Militară, București, 6-7 nov. 2003, (coautor)

15. „*The Horizontal Route Coils for Magnetic Compensation of a Military Ship*” a XXX - a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională TEHNOLOGII MODERNE ÎN SECOLUL XXI, Academia Tehnică Militară, București, 6-7 nov. 2003, (coautor)
16. “*The Simulation of some Electromagnetic Disturbances by Conduction on the Electronic Mass in Naval Electronic Devices*”, Al XXXV-lea Simpozion de comunicări științifice cu participare internațională, Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehnologii militare, București, 27-28 Mai 2004, (coautor)
17. „*The Horizontal Route Coils For The Magnetic Compensation Of A Military Ship*”, The 35th International Symposium Bucharest, May, 27th – 28th, 2004, Military Equipment & Technologies Research Agency, Bucharest, (coautor)
18. „*Naval Equipment Surveillance*”, The 35th International Symposium Bucharest, May, 27th – 28th, 2004, Military Equipment & Technologies Research Agency, Bucharest (coautor)
19. „*Requirements Regarding The Materials And Construction Of Naval Shields*”, Fourth INTERNATIONAL SCIENTIFIC WORKSHOP “*MATERIALS for ELECTRICAL ENGINEERING - MmdE-2004*”, Electrical Engineering Faculty, POLITEHNICA University of Bucharest, 26-28 May 2004, (coautor)
20. „*Tribopowder Plated Materials a Step - by - Step Analysis*”, Fourth INTERNATIONAL SCIENTIFIC WORKSHOP “*MATERIALS for ELECTRICAL ENGINEERING - MmdE-2004*”, Electrical Engineering Faculty, POLITEHNICA University of Bucharest, 26-28 May 2004, (coautor)
21. „*Simularea perturbațiilor electromagnetice asupra unui circuit electronic și efectele acestora*”, A XIX – a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională NAV-MAR-EDU 2005, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, 02-04 iunie 2005, Constanța, (coautor)
22. „*Considerații privind teoria similitudinii și modelării fizice în sinteza înfășurărilor de compensare magnetică a navelor*”, A XIX – a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională NAV- MAR-EDU 2005, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, 02-04 iunie 2005, Constanța, (coautor)
23. „*Considerații privind calculul magnetic al înfășurării de compensare magnetică principală de latitudine*”, A XIX – a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională NAV-MAR-EDU 2005, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, 02-04 iunie 2005, Constanța, (coautor)
24. „*Considerații privind calculul câmpului magnetic al înfășurărilor de compensare orizontală de drum și verticală de drum*”, A XIX – a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională NAV-MAR-EDU 2005, Academia Navală „Mircea cel Bătrân”, 02-04 iunie 2005, Constanța, (coautor)
25. „*Energy issues regarding the aspects of the signals’ interference*”, Al XXXVI – lea Simpozion de cercetări științifice cu participare internațională, Agenția de Cercetare pentru Tehnică și Tehnologii Militare, București, 26-27 mai 2005, (coautor)
26. „*Some Questions Regarding Shielding On The Naval Constructions*”, A XXXI – a Sesiune de comunicări științifice cu participare internațională „Tehnologii Moderne în Secolul XXI”, Academia Tehnică Militară, 3-4 noiembrie 2005, București, (coautor)
27. „*Calculul neliniarității curentului în cazul unui dispozitiv electronic*”, a XXI a sesiune de Comunicări Științifice cu Participare Internațională „NAV.MAR.EDU 2007”, **Vasile Solcanu**, Dumitru Călușeanu
28. „*Comparație între două metode de calcul a neliniarității curenților în cazul unui dispozitiv electronic*”, a XXI a sesiune de Comunicări Științifice cu Participare Internațională „NAV.MAR.EDU 2007”, **Vasile Solcanu**, Gheorghe Samoilescu, Alexandru Sotir, Mircea Constantinescu,
29. „*Considerente practice privind nivelul de câmp electromagnetic în arealul portului Constanța*”, a XXI a sesiune de Comunicări Științifice cu Participare Internațională „NAV.MAR.EDU 2007”, Alexandru Sotir, **Vasile Solcanu**, Gheorghe Samoilescu, Mircea Constantinescu,

Bibliografie selectivă

- [1] V. Solcanu, M. Găiceanu, M. Constantinescu, G. Samoilescu și S. A., „Modeling of the Dispersion Magnetic Fields for the Single-Phase Transformers,” *Sciendo, De Gruyter company*, Vol. %1 din %2Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty – Year 20 No.1 (42) ISSN 2286-2455, DOI: 10.2478/SBEEF-2020-0111, Published online: 01 Oct 2020, <https://doi.org/10.2478/sbeef-2020-0111>, ..
- [2] V. Solcanu și M. Găiceanu, The method of compensating non -linear effects due to disturbing signals in the military operations theatres, Resita: Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Resita. Fascicula de Inginerie Vol. 26, No. 1 (2019),pag. 213-220, ISSN 1453 - 7397, <http://anale-ing.uem.ro/2019.html>, 2019.
- [3] V. Solcanu, M. Găiceanu, A. Sotir, G. Samoilescu și M. Constantinescu, „The results of the electromagnetic field measurements performed on a military maritime ship to determine the effectiveness of a radio-absorbent material,” *IEEE Xplore* <https://ieeexplore.ieee.org/document/9136151>, ISBN:978-1-7281-2907-5, Date Added to IEEE Xplore: 08 July 2020,.
- [4] V. Solcanu, M. Găiceanu, M. Constantinescu, G. Samoilescu și S. A. A., „Modeling of Dispersion Magnetic Fields Developed by the Main Electromagnetic Systems Used on Military Ships,” *Sciendo, De Gruyter company*, Vol. %1 din %2The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, Volume 20, Year 20 No.1 (42), Online ISSN: 2286-2455, DOI: 10.2478/SBEEF-2020-0109, Published online: 01 Oct 2020, <https://doi.org/10.2478/sbeef-2020-0109>..
- [5] G. Samoilescu, S. A. A., M. Constantinescu și V. Solcanu, „The field on the electronic equipments and on the human factor on the ship,” *Revue Roumaine des Sciences Techniques, Serie Electrotechnique et Energetique*, Tome: 53, Issue: 21, Pp.: 179-189, Bucarest , 2008.
- [6] V. Solcanu, M. Găiceanu, M. Constantinescu, A. Bordianu, G. Samoilescu și S. A., „Basic electromagnetic compatibility equation for radio communication systems on board military ships,” *International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering 2020*, University Politehnica of Bucharest, Romania, November 5–7, 2020.
- [7] C. o. t. E. Union, „Saving lives at sea and targeting criminal networks,” last reviewed 27 April 2020.
- [8] A. Soare, „<https://www.mediafax.ro/externe/conflictele-de-pe-mare-imping-sua-sa-extinda-durata-de-aviata-a-12-nave-din-clasa-arleigh-burke-22535417>,” *Mediafax*, accesat 10.11.2024.
- [9] U. S. Navy, „SECNAV Announces Service Life Extensions for 12 Destroyers to “Keep More Ready Players on the Field”,” [Interactiv]. Available: <https://www.navy.mil/Press-Office/Press-Releases/display-pressreleases/Article/3952231/secnav-announces-service-life-extensions-for-12-destroyers-to-keep-more-ready-p/> ; accesat 11.11.2024.
- [10] V. Solcanu, M. Gaiceanu, G. Rosu și M. Solomon, „Algorithm for determining the spatial distribution of the dispersion magnetic field produced by electric machines,” în *SCDS-UDJG, 8th and 9th of June 2023*, Galați, 2023.
- [11] V. Solcanu și G. M., „Military EMC standards,” A VIII-a Conferință Științifică a Școlilor Doctorale organizată de Universitatea "Dunărea de Jos" din Galați (CSSD-UDJG), 18 – 19 Iunie 2020, Galați, 2020.
- [12] History of Electromagnetic Compatibility, Shieldingshop, [tps://medium.com/@Shieldingshop/history-of-electromagnetic-compatibility-c1d3eab16a38](https://medium.com/@Shieldingshop/history-of-electromagnetic-compatibility-c1d3eab16a38), 2016.
- [13] M. L. Evans, „Forrestal (CVA-59),” *Naval History and Heritage Command*, <https://www.history.navy.mil/research/histories/ship-histories/danfs/f/forrestal-cva-59.html>, Published: Mon Sep 11 06:41:38 EDT 2017.
- [14] S. Roblin, „How One Rocket Nearly Destroyed a U.S. Navy Aircraft Carrier,” *The National Interest*, <https://nationalinterest.org/blog/buzz/how-one-rocket-nearly-destroyed-us-navy-aircraft-carrier-71131>, August 3, 2019.

- [15] S. Hank, „How the 1967 Fire on USS Forrestal Improved Future U.S. Navy Damage Control Readiness,” Naval History and Heritage Command, <https://usnhistory.navylive.dodlive.mil/2017/07/28/how-the-1967-fire-on-uss-forrestal-improved-future-u-s-navy-damage-control-readiness/>, July 28, 2017.
- [16] N. FRIEDMAN, „The Falklands War in Retrospect Hard lessons from a small war,” Defense Media Network ,<https://www.defensemedianetwork.com/stories/the-falklands-30-years-later/>, APRIL 2, 2015.
- [17] G. R. M. G. O. B. Vasile SOLCANU, „Engineering Applications for Electromagnetic Fields in Naval Electromagnetic Security,” In curs de editare la editura Springer, 2021.
- [18] „Loss of HMS Sheffield - Board of Inquiry,” UK Government Web Archive, https://webarchive.nationalarchives.gov.uk/ukgwa/20121026065214/http://www.mod.uk/NR/rdonlyres/9D8947AC-D8DC-4BE7-8DCC-C9C623539BCF/0/boi_hms_sheffield.pdf, Archived on 26 Oct 2012.
- [19] D. Day, „The Lion and the Vortex,” The Space Review, <https://www.thespacereview.com/article/2258/1>, March 11, 2013.
- [20] MIL-STD-464D "ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENTAL EFFECTS REQUIREMENTS FOR SYSTEMS", DEPARTMENT OF DEFENSE, 24 December 2020, Downloaded: 2023-04-04T16:37Z.
- [21] „Test and Evaluation of Major Defence Equipment Acquisitions,” Australian National Audit Office, Commonwealth of Australia 2002, ISSN 1036–7632, ISBN 0 642 80612 8, Canberra, 24 January 2002.
- [22] Design Practices for Military EMC and Environmental Compliance, Posted on february 1, 2014 , <https://incompliancemag.com/article/design-practices-for-military-emc-and-environmental-compliance/>.
- [23] J. D. J. Pierce, Electromagnetic Compatibility (EMC) Requirements for Military and Commercial Equipment, MONTEREY, CALIFORNIA: Naval Postgraduate School, September 2009.
- [24] Introduction to EMC, LearnEMC, LLC, <https://learnemc.com/introduction-to-emc>, 2020.
- [25] „Aircraft Accident Report. In-flight Breakup Over The Atlantic Ocean Trans World Airlines Flight 800 Boeing 747-131, N93119 Near East Moriches, New York July 17, 1996,” National Transportation Safety Board, <https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/AAR0003.pdf>, Washington, D.C., August 23, 2000..
- [26] MIL STD 1605 – „Procedures for conducting a shipboard electromagnetic interference (emi) survey (surface ships)”.
- [27] MIL-HDBK-237D „Electromagnetic environmental effects and spectrum supportability guidance for the acquisition process”, Departament Of Defence, 20 May 2005.
- [28] V. G. M. Solcanu, M. Constantinescu, A. Bordianu, G. Samoilescu și A. Sotir, „Global modeling of the leakage magnetic field in a volume of interest on a military ship (ship compartment),” 2020 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE - DOI: 10.1109/ISFEE51261.2020.9756176, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9756176>, Date Added to IEEE Xplore: 20 April 2022.
- [29] A. Schwab, Compatibilitatea electromagnetică, București: Editura Tehnică, 1996.
- [30] G. D. William, Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility Vol. 7, Gainesville, Virginia, USA: Interference Control Technologies, Inc. Gainesville, Virginia, 1988.
- [31] C. Mincu și G. T., Compatibilitatea sistemelor radioelectronice, București: Editura Olimp, 1999.
- [32] G. Hortopan, Principii și tehnici de compatibilitate electromagnetică, București: Editura Tehnică, 1998.
- [33] W. G. Duff, Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility Vol. 7, Gainesville, Virginia, USA: Interference Control Technologies, Inc. Gainesville, Virginia, 1988.
- [34] D. D. Sandu, Dispozitive și circuite electronice, București: Editura Didactică și Pedagogică, 1975.
- [35] C.-D.Căleanu, Dispozitive și circuite electronice: Experimente și simulare, Timișoara: Ed. Politehnica, 2003.
- [36] V. G. M. Solcanu, The method of compensating non -linear effects due to disturbing signals in the military operations theatres, Resita: Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Resita. Fascicula de Inginerie Vol. 26, No. 1 (2019),pag. 213-220, ISSN 1453 - 7397, <http://anale-ing.uem.ro/2019.html>, 2019.
- [37] G. S. A. S. M. C. Vasile Solcanu, Comparație între două metode de calcul a neliniarității curenților în cazul unui dispozitiv electronic,, A XXI a sesiune de Comunicări Științifice cu Participare Internațională „NAV.MAR.EDU 2007.
- [38] I. Șabac, Matematici speciale, București: Editura didactică și pedagogică, 1982.

- [39] I. Constantin și I. Marghescu, *Transmisiuni Analogice și Digitale*, București: Editura Tehnică, 1995.
- [40] R. E. Ziemer și W. H. Tranter, „Principles of Communications, 7th Edition,” Wiley, ISBN: 978-1-118-07891-4, <https://it-ebooks.info/>, 2014.
- [41] A. B. Carlson și P. B. Crilly, „Communication Systems- An Introduction to Signals and Noise Fifth Edition,” Published by McGraw-Hill, Copyright © 2010, New York.
- [42] S. O. Agbo și M. N. O. Sadiku, „Principles of Modern Communication, 7- Systems Noise in analog communications,” Cambridge University Press, Online publication date: February 2019.
- [43] V. Solcanu, M. Găiceanu, M. Constantinescu, G. Samoilescu și S. A., „Modeling of the Dispersion Magnetic Fields for the Single-Phase Transformers,” *Sciendo, De Gruyter company*, Vol. %1 din %2Scientific Bulletin of the Electrical Engineering Faculty – Year 20 No.1 (42) ISSN 2286-2455, DOI: 10.2478/SBEEF-2020-0111, Published online: 01 Oct 2020, <https://doi.org/10.2478/sbeef-2020-0111>, ..
- [44] V. Solcanu, M. Găiceanu, M. Constantinescu, A. Bordianu, G. Samoilescu și A. Sotir, „Global modeling of the leakage magnetic field in a volume of interest on a military ship (ship compartment),” 2020 International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering (ISFEE), IEEE - DOI: 10.1109/ISFEE51261.2020.9756176, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9756176>, Date Added to IEEE Xplore: 20 April 2022.
- [45] V. SOLCANU și C. D., „Calculul neliniarității curentului în cazul unui dispozitiv electronic,” A XXI a sesiune de Comunicări Științifice cu Participare Internațională „NAV.MAR.EDU 2007.
- [46] V. Solcanu, G. Samoilescu și A. Sotir, „Comparație între două metode de calcul a neliniarităților curentilor în cazul unui dispozitiv electronic,” în A XXI a sesiune de Comunicări Științifice cu Participare Internațională „NAV.MAR.EDU 2007, Constanța.
- [47] V. Solcanu și M. Găiceanu, The method of compensating non -linear effects due to disturbing signals in the military operations theatres, Resita: Analele Universitatii "Eftimie Murgu" Resita. Fascicula de Inginerie Vol. 26, No. 1 (2019), pag. 213-220, ISSN 1453 - 7397, <http://anale-ing.uem.ro/2019.html>, 2019.
- [48] V. Solcanu, M. Gaiceanu și M. Solomon, „Interference Challenges on board Military Ships,” 6th International Symposium on Electrical and Electronics Engineering (ISEEE), pp. 1-6, doi: 10.1109/ISEEE48094.2019.9136128., Galati, 2019.
- [49] V. Solcanu, M. Gaiceanu și G. Rosu, „Study of Resistance to Disturbances of the Main Types of Communication Systems on Board Military Ships Used during Interception or Search and Rescue Missions,” Vol. %1 din %2Inventions 2021, 6, 72. <https://doi.org/10.3390/inventions6040072>, 2021.
- [50] V. Solcanu, M. Găiceanu, A. Sotir, G. Samoilescu și M. Constantinescu, „The results of the electromagnetic field measurements performed on a military maritime ship to determine the effectiveness of a radio-absorbent material,” *IEEE Xplore* <https://ieeexplore.ieee.org/document/9136151>, ISBN:978-1-7281-2907-5, Date Added to IEEE Xplore: 08 July 2020,.
- [51] V. Solcanu, M. Găiceanu, M. Constantinescu, G. Samoilescu și S. A. A., „Modeling of Dispersion Magnetic Fields Developed by the Main Electromagnetic Systems Used on Military Ships,” *Sciendo, De Gruyter company*, Vol. %1 din %2The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, Volume 20, Year 20 No.1 (42), Online ISSN: 2286-2455, DOI: 10.2478/SBEEF-2020-0109, Published online: 01 Oct 2020, <https://doi.org/10.2478/sbeef-2020-0109>..
- [52] G. Samoilescu, S. A. A., M. Constantinescu și V. Solcanu, „The field on the electronic equipments and on the human factor on the ship,” *Revue Roumaine des Sciences Techniques, Serie Electrotechnique et Energetique*, Tome: 53, Issue: 21, Pp.: 179-189, Bucarest, 2008.
- [53] V. G. M. Solcanu, M. Constantinescu, G. Samoilescu și S. A. A., „Modeling of Dispersion Magnetic Fields Developed by the Main Electromagnetic Systems Used on Military Ships,” *Sciendo, De Gruyter company*, Vol. %1 din %2The Scientific Bulletin of Electrical Engineering Faculty, Volume 20, Year 20 No.1 (42), Online ISSN: 2286-2455, DOI: 10.2478/SBEEF-2020-0109, Published online: 01 Oct 2020, <https://doi.org/10.2478/sbeef-2020-0109>..
- [54] „Rapoarte de cercetare in cadrul Programului Național CEEEX 2005: “Ecologie Electromagnetica – caracterizarea surselor, diagnosticarea efectelor, prevenirea si combaterea lor”, Contract nr. 6115, 10.10.2005, 2005-2008.
- [55] I.S.Rusin, „Electropitanie hidroacusticescoi aparatură,” ED. Sudostraenie, ,, Leningrad, 1975.
- [56] „Introduction to EMC,” *Learn EMC*, 2023 LearnEMC, LLC, <https://learnemc.com/introduction-to-emc>.

- [57] „www.ancom.ro,” [Interactiv]. Available: https://www.ancom.ro/uploads/links_files/HG_487_2016_privind_compatibilitatea_electromagnetica_in_vigoare_din_08_08_2019.pdf. [Accesat 16 03 2024].
- [58] U. Vered, „Intersystem EMC Analysis, Interference, and Solutions. . s.l. : Artech House , .,” s.l. : *Artech House* , 2018.
- [59] T. G. Ctin. Mincu, *Compatibilitatea sistemelor radioelectronice.*, București: Editura Olimp, 1999.
- [60] A. Sotir, *Interferente electromagnetice perturbatoare - Baze teoretice*, Bucuresti: Editura Militara, 2005.
- [61] V. G. M. Solcanu, M. Constantinescu, A. Bordianu, G. Samoilescu și S. A., „Basic electromagnetic compatibility equation for radio communication systems on board military ships,” *International Symposium on Fundamentals of Electrical Engineering 2020*, University Politehnica of Bucharest, Romania, November 5–7, 2020.
- [62] V. G. M. Solcanu, G. Rosu și M. Solomon, „Algorithm for determining the spatial distribution of the dispersion magnetic field produced by electric machines,” în *SCDS-UDJG, 8th and 9th of June 2023*, Galati , 2023.