

UNIVERSITATEA POLITEHNICA DIN BUCUREȘTI



Școala Doctorală de Electronică, Telecomunicații și Tehnologia Informației

Decizie nr. din

REZUMAT TEZĂ DE DOCTORAT

Ing. Andreea CONSTANTIN (PLĂTICĂ)

SEPARAREA EFECTULUI CURENȚILOR DE MOD COMUN DE PE CABLURILE DE ALIMENTARE ALE ANTENELOR DIN CÂMPUL TOTAL RADIAT

DISCRIMINATION OF COMMON MODE CURRENTS EFFECT ON ANTENNA FEEDERS FROM THE TOTAL RADIATED FIELD

COMISIA DE DOCTORAT

Prof. Dr. Ing. Bogdan IONESCU Univ. Politehnica din București	Președinte
Prof. Dr. Ing. Răzvan TAMAȘ Univ. Politehnica din București	Conducător de doctorat
Prof. Dr. Ing. Tudor PALADE Univ. Tehnică din Cluj-Napoca	Referent
Conf. Dr. Ing. Nicolae LUCANU Univ. Tehnică "Gheorghe Asachi" din Iași	Referent
Conf. Dr. Ing. Alina BĂDESCU Univ. Politehnica din București	Referent

BUCUREȘTI 2021

Cuprins

Capitolul 1 1
1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat 2
1.2 Scopul tezei de doctorat
1.3 Conținutul tezei de doctorat 2
Capitolul 2 3
2.1 Câmpul electromagnetic produs de curenții de mod comun
2.2 Metode de măsurare a câmpului de radiație 4
2.2.1 Amplasamente de măsurare a sistemelor radiante 4
2.2.2 Măsurarea câștigului și directivității [21] 4
2.2.3 Metoda medierii în distanță pentru măsurarea caracteristicilor de radiație în amplasamente multicale
2.3 Metode de reducere a efectului radiației curenților de mod comun
Capitolul 37
3.1 Antena biconică [33]7
3.1.1 Câmpurile radiate7
3.1.2 Impedanța de intrare
3.2 Antena buclă
3.2.1 Bucla circulară de dimensiuni electric mici [33] 8
3.2.2 Bucla circulară cu distribuție constantă de curent [33] 8
Capitolul 4
4.1 Metode de eliminare a efectului căilor multiple de propagare. Analiză comparativă 9
4.1.1 Metoda medierii în distanță
4.1.2 Metoda ferestruirii
4.2 Validarea experimentală
Capitolul 5
5.1 Principiul metodei
5.2 Studiu de caz: antene simetrice
5.2.1 Reducerea efectului curenților de mod comun în măsurarea caracteristicilor de radiație ale antenelor
5.2.2 Determinarea ariei efective a buclei de măsură cu ajutorul metodei medierii în distanță

5	.2.3 Validarea experimentală	18
5.3	Studiu de caz: antene asimetrice	22
5	.3.1 Separarea efectelor surselor de radiație	22
5	.3.2 Validarea experimentală	24
Capito	olul 6	27
6.1	Rezultate obținute	27
6.2	Contribuții originale	28
6.3	Lista lucrărilor originale	29
6.4	Perspective de dezvoltare ulterioară	30
Biblic	pgrafie	31

Capitolul 1

Introducere

Separarea efectelor produse de radiația electromagnetică provenind de la mai multe surse are numeroase aplicații practice. Dintre acestea se pot enumera următoarele:

- a) radioastronomia;
- b) radiolocația;
- c) compatibilitatea electromagnetică;

d) măsurarea antenelor; caracterizarea antenelor presupune nu doar evaluarea câmpului produs de elementele radiante propriu-zise, ci și studierea influenței pe care circuitele de alimentare ale acestora o au asupra caracteristicii globale de radiație.

1.1 Prezentarea domeniului tezei de doctorat

Conceperea unei antene presupune parcurgerea următoarelor etape:

1) definirea unui model teoretic pe baza căruia se stabilește forma elementelor radiante; în această etapă este vorba fie de un proces de sinteză, fie de optimizare a unei arhitecturi existente care să permită obținerea unor anumite valori ale parametrilor ce caracterizează radiația (câștig, diagrame de radiație, forma de undă a unui impuls radiat).

 2) simularea structurii proiectate; în general în această etapă antena este caracterizată utilizând un software specializat și făcând abstracție de o eventuală contribuție la radiație a elementelor de interconectare (conectori, cabluri de alimentare).

3) validarea experimentală, prin măsurători, a antenei proiectate; în această etapă antena este caracterizată prin măsurători fie într-un mediu controlat (camera anecoidă), fie *in situ*. De multe ori amplasamentul de măsurare însă, nu poate reproduce condițiile aplicației finale, ceea ce conduce la alterarea rezultatelor prin măsurarea nu doar a radiației antenei propriu-zise, ci și a curenților de mod comun care pot să apară pe conectorii și cablurile de alimentare.

În această situație devine necesară separarea efectelor câmpurilor de radiație produse de cele două surse și respectiv, identificarea unor metode care să permită eliminarea efectelor radiației elementelor de interconexiune.

1.2 Scopul tezei de doctorat

Scopul acestei lucrări îl constituie dezvoltarea unor metode care să permită separarea efectelor radiației produse de antenă, respectiv de cablul de alimentare parcurs la exterior de curenți de mod comun.

Se vor investiga atât metode care să permită măsurarea câmpului produs de curenții de mod comun, cât și reducerea efectului acestora în sistemele de măsurare ale antenelor, prin prelucrarea rezultatelor.

În ceea ce privește principiul care stă la baza unei astfel de separări, vor fi abordate două direcții: una care exploatează o eventuală ortogonalitate a polarizării celor două surse și o alta care permite separarea celor două efecte grație variabilității curenților de mod comun în raport cu distanța.

Studiile de caz vor acoperi atât situația în care curenții de mod comun provin din alimentarea unei antene simetrice cu un cablu asimetric, cât și cazul în care curenții de mod comun apar pe cablul de alimentare al unei antene asimetrice de tip monopol, având un plan de masă de dimensiuni electrice reduse. La rândul lor, tipurile de antene simetrice analizate vor avea una sau două grade de simetrie, pentru fiecare caz în parte fiind dezvoltate strategii de măsurare adecvate.

1.3 Conținutul tezei de doctorat

Capitolul 2 prezintă metode de evaluare a câmpului produs de curenții de mod comun. Sunt prezentate atât metode de măsurare a câmpului de radiație cât și metode de reducere a efectului radiației curenților de mod comun, existente în literatura de specialitate.

În capitolul 3 sunt investigate din punct de vedere teoretic antenele care pot fi utilizate pentru măsurarea câmpului radiat de curenții de mod comun. Cele două tipuri de antene prezentate (biconică și de tip buclă) constituie soluțiile optime pentru metodele de măsură propuse în capitolele următoare.

În cel de-al patrulea capitol se propune o metodă de separare în polarizare a câmpului radiat produs de antenă de cel produs de curenții de mod comun de pe conductorul exterior al cablului de alimentare, într-un mediu cu căi multiple de propagare. Rezultatele sunt comparate cu cele obținute utilizând metoda ferestruirii în domeniul timp.

O altă metodă de separare a efectului radiației curenților de mod comun din câmpul total radiat de o antenă, este prezentată în capitolul 5. Sunt dezvoltate mai multe strategii de aplicarea a metodei atât pentru antene simetrice cu diferite grade de simetrie, cât și pentru antene monopol pe plane de masă de dimensiuni reduse.

Capitolul 6 prezintă concluziile tezei, contribuțiile originale, lista lucrărilor publicate pe parcusului programului de cercetare avansată, precum și perspectivele de dezvoltare ulterioară a cercetărilor pe subiectul abordat.

Capitolul 2

Evaluarea câmpului produs de curenții de mod comun

2.1 Câmpul electromagnetic produs de curenții de mod comun

Atunci când o antenă simetrică este alimentată printr-o linie de trasmisiune asimetrică, de exemplu cablul coaxial, chiar dacă există concordanță între rezistența de radiație a antenei și impedanța caracteristică a cablului, antena va fi alimentată asimetric. Aceasta conduce deformarea diagramei de radiație a antenei ca urmare a apariției unor curenți de compensație care circulă prin împletitura metalică exterioară a cablului [1]. Pentru evitarea apariției unor perturbații, valoarea curenților de mod comun trebuie să fie de cel puțin zece ori mai mică decât valoarea curentului de alimentare. Cu toate acestea, există studii în care s-a demonstrat că utilizarea unei antene de dimensiuni apropiate de cele planului de masă sau liniei de alimentare poate conduce la apariția unor curenți de mod comun cu valori comparabile cu cele ale curentilor de alimentare [2]. Pentru astfel de antene, câmpul total radiat este puternic influențat de radiația curenților de mod comun.



Figura 2.1 Descompunerea curentului în termeni de mod comun și mod diferențial



Figura 2.2 Câmpul electric produs de curenții diferențiali și de curenții de mod comun

Dacă conductoarele sunt electric scurte, $L \ll \lambda$, atunci fiecare structură se poate aproxima cu două elemente de curent.

$$\left| E_{D_{max}} \right| = \frac{120\pi^2}{c_0^2} \frac{I_{md} L df^2}{R} = 1.316 \times 10^{-14} \frac{I_{md} L df^2}{R} \quad \text{V/m.}$$
(2.22)

$$\left| E_{C_{max}} \right| = \frac{120\pi I_{mc} Lf}{c_0^2 R} = 1.257 \times 10^{-6} \frac{I_{mc} Lf}{R} \qquad \text{V/m.}$$
(2.24)

Relația (2.24) se poate folosi pentru a determina locul în care curentul de mod comun poate fi măsurat utilizând o sondă de curent. Sonda de curent va măsura $2I_{mc}$. Relația (2.24) devine:

$$\left| E_{C_{max}} \right| = 6.28 \times 10^{-7} \, \frac{I_{sonda} L f}{R} \, \text{V/m.}$$
 (2.25)

Așadar una din metodele de măsurare a curenților de mod comun o reprezintă utilizarea unei sonde de curent, a cărei funcționare se bazează pe măsurarea câmpului magnetic.

2.2 Metode de măsurare a câmpului de radiație

2.2.1 Amplasamente de măsurare a sistemelor radiante

Câmpul incident ideal pentru măsurarea caracteristicilor de radiație ale antenei este unda plană uniformă. În practică este posibilă aproximarea unui astfel de câmp. Încercările de a face acest lucru au dus la dezvoltarea a două tipuri elementare de amplasamente de măsură [3]:

amplasament de tip spațiu liber. Acest tip de amplasament este conceput în așa fel încât toate efectele din împrejurimi sunt reduse la un nivel acceptabil.

➤ amplasament cu reflexii. Acest tip de amplasament este proiectat pentru a folosi în mod judicios reflexiile în scopul de a produce o undă plană aproximativă.

2.2.2 Măsurarea câștigului și directivității [3]

Câștigul în putere al unei antene, într-o direcție specificată, este de 4π ori raportul puterii radiate per unitate de unghi solid în acea direcție și puterea netă acceptată de antenă de la generator. Această cantitate este o proprietate intrinsecă a unei antene și nu implică pierderile în sistem rezultate din dezadaptarea de impedanță sau polarizare. Pentru a determina transferul de putere într-un sistem, impedanța de intrare și polarizarea antenei trebuie să fie măsurate și luate în considerare.

Directivitatea unei antene, într-o anumită direcție, este de 4π ori raportul puterii radiate per unitate de unghi solid în acea direcție și puterea totală radiată de antenă. Acest temen diferă de câștigul în putere deoarece nu include pierderile prin disipație ale antenei.

Directivitatea unei antene măsurate se obține integrând diagramele de radiație ale antenei în câmp îndepărtat pe o suprafață sferică închisă. Dacă pierderile antenei pot fi determinate prin alte mijloace, atunci câștigul în putere poate fi determinat prin măsurarea directivității.

2.2.3 Metoda medierii în distanță pentru măsurarea caracteristicilor de radiație în amplasamente multicale

Dacă masurătorile sunt efectuate într-un mediu cu căi multiple de propagare, efectul căilor multiple de propagare se poate elimina prin aplicarea unei transformate Fourier inverse asupra datelor măsurate în domeniul frecvență [4], [5], urmată de o ferestruire în domeniul timp. Metoda ferestruirii în domeniul timp se poate aplica însă numai pentru antenele de bandă largă, întrucât în acest caz suportul temporal al răspunsului este scurt. Pentru antenele de bandă îngustă, măsurătorile se pot efectua într-un sistem cu interferențe controlate, de exemplu o cameră reverberantă [6].

O altă metodă utilizată pentru măsurători în medii cu căi multiple de propagare, este metoda medierii în distanță [7]. În [7] s-a considerat un sistem format din două antene omnidirecționale, au fost analizate influențele reflexiilor de pe obstacolele din mediul de propagare asupra funcțiilor de transfer și s-a aplicat metoda medierii în distanță pentru a reduce efectul căilor multiple de propagare. Pentru validarea experimentală s-au măsurat parametrii de repartiție pentru un sistem de măsură alcătuit din antena măsurată, antena de măsură calibrată și un analizor vectorial. Antena măsurată a fost plasată într-o poziție fixă și antena de măsură a fost deplasată la diferite distanțe. S-a aplicat metoda medierii în distanță care presupune ponderarea cu distanța a parametrilor de transfer, medierea acestora și compensarea fazei pentru fiecare distanță,

$$d_{0} \cdot \left| S_{21, \text{ spatiu liber}}(d_{0}) \right| \cong d_{0} \cdot \left| S_{21, \text{ aprox}}(d_{0}) \right| = \frac{1}{N} \left| \sum_{n=1}^{N} d_{k} \cdot S_{21}(d_{k}) \cdot \exp(jk_{0}d_{k}) \right|, \quad (2.63)$$

unde d_k este distanța dintre antene, N este numărul de poziții ale antenei măsurate, iar d_0 este distanța de referință (considerată 1 m).

Dacă se notează cu G_m câștigul antenei de măsură, atunci câștigul antenei măsurate (AUT) se poate determina astfel:

$$G_{\text{AUT}} \cong \frac{d_0^2 \cdot \left| S_{21,\text{aprox}} \right|^2}{G_{\text{m}} \left(1 - \left| S_{22,\text{AUT}} \right|^2 \right)} \cdot \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right)^2.$$
(2.64)

2.3 Metode de reducere a efectului radiației curenților de mod comun

Pentru minimizarea curenților de mod comun de pe ecranul cablului coaxial, situație în care cablul ar deveni parte din antenă, în foarte multe studii se recurge la proiectarea unui balun (Figura 2.10) [2], [8].





a) Tub de ferită b) Balun din cablu coaxial Figura 2.3 Balun-uri utilizate pentru reducerea curenților de mod comun

Într-un studiu efectuat [2] s-a demonstrat faptul că valoarea impedanței de intrare a antenei pentru curenții de mod comun este apropiată de cea corespunzătoare curenților de mod diferențial, iar pentru o bună funcționare a antenei este necesar ca impedanța pentru curenții de mod comun să fie de cel puțin zece ori mai mare. Soluția pentru creșterea impedanței a reprezentat-o așezarea cablului coaxial folosit pentru alimentare sub formă de bobina. La antenele de microunde dezavantajul principal al utilizării balunurilor este banda îngustă a acestora. Există și balun-uri de bandă largă, de exemplu balunul de tip transformator, însă acestea au dezavantajul că lucrează la frecvențe joase și sunt costisitoare.

Alți autori au sugerat înlocuirea cablului coaxial cu fibră optică, utilizând un traductor RF optoelectronic care permite conectarea dintre fibră și antenă [9]. În această lucrare (Figura 2.11) s-a propus alimentarea unei antene monopol de dimensiuni reduse utilizând ca linie de alimentare cablul coaxial și fibra optică. Au fost studiate efectele poziționării fibrei optice în diferite configurații de măsură. Măsurătorile au fost efectuate într-o cameră anecoidă.



Figura 2.4 Configurația de măsură utilizată pentru măsurarea radiației unei antene monopol alimentată prin: a) cablu coaxial și b) fibră optică [9]

Această soluție oferă rezultate, însă costul necesar implementării unei astfel de configurații de măsură este ridicat.

Capitolul 3

Antene de măsură pentru caracterizarea radiației produse de curenții de mod comun

În măsurarea câmpului radiat de curenții de mod comun este necesară de multe ori o separare a surselor de radiație (spre exemplu extragerea câmpului produs de cablul de alimentare din câmpul total produs de ansamblul antenă-cablu). În capitolele 4 și 5 se propun o serie de metode care permit o astfel de separare a surselor; în funcție de cazul concret studiat este nevoie fie de o antenă cu polarizare liniară, fie cu polarizare circulară. Dintre antenele cu polarizare liniară, antena biconică are avantajul unei benzi fracționale de frecvență foarte largi. Dintre antenele cu polarizare circulară, antena biconică este o antenă rezonantă, efectul său dispersiv poate fi compensat prin prelucrarea ulterioară a rezultatelor măsurătorilor.

3.1 Antena biconică [10]

3.1.1 Câmpurile radiate

Câmpul electric E_{θ} depinde de câmpul magnetic H_{ϕ} și de impedanța intrinsecă:

$$E_{\theta} = \eta H_{\phi} = \eta \frac{H_0}{\sin \theta} \frac{\mathrm{e}^{-\mathrm{j}kr}}{r}.$$
(3.9)

Tensiunea produsă între două puncte de pe conuri, la o distanță r de origine, se poate determina astfel:

$$V(r) = \int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} (\hat{a}_{\theta} E_{\theta}) \cdot (\hat{a}_{\theta} r d\theta) = \int_{\alpha/2}^{\pi-\alpha/2} E_{\theta} r d\theta.$$
(3.10)

Expresia curentului produs pe suprafața conurilor, la o distanță r față de origine, se poate scrie astfel:

$$I(r) = \int_{0}^{2\pi} H_{\phi} r \sin \theta d\phi = H_{0} e^{-jkr} \int_{0}^{2\pi} d\phi = 2\pi H_{0} e^{-jkr}.$$
 (3.11)

3.1.2 Impedanța de intrare

$$Z_{c} = \frac{V(r)}{I(r)} = \frac{\eta}{\pi} \ln\left[\operatorname{ctg}\frac{\alpha}{4}\right].$$
(3.12)

Deoarece impedanța caracteristică nu variază în raport cu distanța radială *r*, aceasta reprezintă impedanța de intrare la bornele de alimentare ale antenei de dimensiuni infinite.

3.2 Antena buclă

3.2.1 Bucla circulară de dimensiuni electric mici [10]

Componentele câmpului magnetic:

$$H_{r} = j \frac{ka^{2} I_{0} \cos \theta}{2r^{2}} \left[1 + \frac{1}{jkr} \right] e^{-jkr}, \qquad (3.32a)$$

$$H_{\theta} = -\frac{(ka)^{2} I_{0} \sin \theta}{4r} \left[1 + \frac{1}{jkr} - \frac{1}{(kr)^{2}} \right] e^{-jkr}, \qquad (3.32b)$$

$$H_{\phi} = 0.$$
 (3. 32c)

Componentele câmpului electric:

$$E_r = E_\theta = 0, \tag{3.33a}$$

$$E_{\phi} = \eta \frac{\left(ka\right)^2 I_0 \sin\theta}{4r} \left[1 + \frac{1}{jkr}\right] e^{-jkr}.$$
(3.33b)

3.2.2 Bucla circulară cu distribuție constantă de curent [10]

Câmpurile E și H asociate funcției potențial electric vector sunt:

$$E_r \cong E_\theta = 0, \tag{3.68a}$$

$$E_{\phi} \cong \frac{ak\eta I_0 \mathrm{e}^{-\mathrm{j}kr}}{2r} J_1(ka\sin\theta), \qquad (3.68\mathrm{b})$$

$$H_r \cong H_\phi = 0, \tag{3.68c}$$

$$H_{\theta} \cong -\frac{E_{\phi}}{\eta} = \frac{akI_0 \mathrm{e}^{-\mathrm{j}kr}}{2r} J_1(ka\sin\theta).$$
(3.68d)

Capitolul 4

Separarea în polarizare a efectelor radiației antenei și curenților de mod comun

Anumite configurații antenă-linie de alimentare, permit separarea celor două surse de radiație atunci când polarizările acestora sunt ortogonale, utilizând o antenă cu polarizare liniară.

În aceast capitol este descrisă o metodă de separare a celor două surse de radiație (antenă și cablu), utilizând metoda medierii în distanță [11]. Se va prezenta o comparație a rezultatelor obținute prin aplicarea a două metode asupra aceluiași set de date: metoda medierii în distanță și metoda ferestruirii în domeniul timp.

4.1 Metode de eliminare a efectului căilor multiple de propagare. Analiză comparativă

În Figura 4.1 sunt prezentate principiile pentru metoda ferestruirii și metoda medierii în ditanță, care au fost dezvoltate initițial pentru măsurarea radiației antenelor într-un mediu cu reflexii (căi multiple de popagare). Ne dorim ca aceste metode să se poata aplica și pentru a măsura radiația provenită de la curenții de mod comun de pe cablurile de alimentare ale antenelor simetrice.



Figura 4.1 Metoda medierii în distanță vs metoda ferestruirii în domeniul timp

4.1.1 Metoda medierii în distanță

Pentru un mediu de propagare cu reflexii multiple, câștigul unei antene se poate extrage prin deplasarea antenei măsurate la anumite distanțe față de antena de măsură. Utilizând metoda medierii în distanță (Figura 4.1b) se pot reduce efectele căilor indirecte de propagare, inclusiv reflexia și difracția asupra obstacolelor din vecinătatea antenei, prin măsurarea funcției de transfer normate la diferite distanțe între antena măsurată și antena de măsură. Normarea funcțiilor de transfer conduce la compensarea efectului de propagare așa cum s-ar întâmpla în spațiul liber, din punct de vedere al atenuării și al întârzierii [12].

Funcția de transfer mediată se poate calcula utilizând funcțiile de transfer măsurate pentru fiecare distanță d_k dintre antene,

$$\overline{S}_{21} = \sum_{n=1}^{N} \frac{d_k}{d_0} \exp(jk_0 d_k) S_{21}^{d_k},$$
(4.1)

unde d_0 este distanța de referință setată la 1m și k_0 este constanta de propagare în spațiul liber.

4.1.2 Metoda ferestruirii

În domeniul timp, efectul propagării pe căi indirecte se poate reduce prin simpla trunchiere a răspunsului pe calea directă, dacă se respectă condiția ca răspunsul în domeniul timp să fie mai scurt decât timpul de propagare aferent căii directe.

Pentru a extrage cu precizie câștigul antenei măsurate este foarte important să se aleagă corect lungimea ferestrei de timp [13]. Limita superioară a ferestrei de timp trebuie aleasă ținând cont că

$$t_w = \frac{d}{c_0},\tag{4.2}$$

unde d este lungimea căii directe și t_w este lungimea ferestrei de timp.

Atunci când radiația curenților de mod comun este măsurată într-un mediu de propagare cu reflexii multiple, este posibil să fie necesară alegerea unei fereastre de timp mai mare decât întârzierea aferentă căii directe, întrucât răspunsul corespunzător radiației generate de acest curenți este de regulă mai lung.

În acest caz, limita superioară a ferestrei de timp trebuie corelată cu cea mai scurtă cale indirectă de propagare $r_{i,min}$,

$$t_w = \frac{r_{i,\min}}{c_0}.$$
(4.4)

4.2 Validarea experimentală

Pentru validarea metodei propuse s-a utilizat ca antenă măsurată o antenă log-periodică (LPDA), iar ca sondă s-a utilizat o antenă biconică calibrată. Pentru măsurarea funcțiilor de transfer, cele două antene au fost conectate la un analizor vectorial (Figura 4.3). Măsurătorile au fost efectuate într-un mediu de propagare multicale (o cameră obișnuită din interiorul unei clădiri).

Măsurătorile au fost efectuate la distanțe cuprinse între 20 și 40cm între antena măsurată și antena de măsură, cu un increment de 5cm.



Figura 4.2 Ansamblul folosit pentru validarea experimentală

În Figura 4.4 este prezentată funcția normată de transfer obținută pentru fiecare din cele cinci distanțe dintre LPDA și buclă. În aceeași figură este reprezentată valoarea medie rezultată utilizând relația (4.1).



Figura 4.3 Funcțiile de transfer normate și media

În Figura 4.5 este reprezentat răspunsul în domeniul timp $s_{21}(t)$ și fereastra de timp,



Figura 4.4 Răspunsul în domeniul timp și fereastra de timp

Ansamblul de măsură a fost amplasat în așa fel încât cel mai apropiat obstacol să fie la o distanță de 3m. Acest lucru conduce la o fereastră de timp de aproximativ 25ns, suficientă pentru a separa răspunsul sistemului.

În Figura 4.7 și Figura 4.8 sunt prezentate comparații ale funcțiilor de transfer obținute prin aplicarea celor două metode, respectiv câștigul cablului de alimentare obținut prin aplicarea acelorași metode.



Figura 4.7 Funcțiile de transfer obținute prin aplicarea metodei medierii în distanță și a metodei ferestruirii

Figura 4.8 Câștigul cablului de alimentare utilizat, privit ca radiator

S-a demonstrat că metoda medierii în distanță se poate aplica pentru măsurarea radiației curenților de mod comun de pe cablul de alimentare al unei antene simetrice. Diferențele apar din cauza faptului că precizia metodei ferestruirii în domeniul timp depinde de raportul dintre durata răspunsului și distribuția obstacolelor în amplasamentul de măsurare. Câmpul radiat de antena log-periodică este mult mai puternic decât cel radiat de curenții de mod comun. Ca toate acestea câmpul radiat de antenă este redus substantial pentru că urmează o cale indirectă, iar rotirea polarizării coduce la o componentă copolară mult mai mică decât cea polară.

Capitolul 5

Separarea câmpului radiat de curenții de mod comun din câmpul total generat de antene cu ajutorul metodei medierii în distanță

În acest capitol se propune o metodă alternativă de separarea a efectelor celor două surse, pornind de la caracterul variabil al distribuției curenților de mod comun, aplicând o nouă versiune a metodei medierii în distanță. Noua metodă este testată atât pentru antene simetrice cu diferite grade de simetrie, alimentate cu cabluri coaxiale perpendiculare pe elementul radiant, cât și pentru antene de tip monopol cu plane de masă de dimensiuni electric mici, alimentate prin cablu coaxial coliniar cu elementul radiant.

5.1 Principiul metodei

Pentru fiecare tip de antenă analizată, se vor defini două configurații de măsurare (Figura 5.1):

una în care antena de măsură produce la bornele sale un semnal proporțional cu suma dintre câmpul produs de curenții de mod comun şi de antenă;

una în care antena de măsură produce la bornele sale un semnal proporțional doar cu câmpul produs de antenă.



Figura 5.1 Principiul de separarea a radiației curenților de mod comun

Determinarea câmpului produs de curenții de mod comun de pe exteriorul cablului de alimentare se va putea realiza prin aplicarea unei proceduri diferențiale asupra seturilor de măsurători efectuate în cele două configurații.

5.2 Studiu de caz: antene simetrice

5.2.1 Reducerea efectului curenților de mod comun în măsurarea caracteristicilor de radiație ale antenelor

În aceast paragraf se va demonstra că metoda medirii în distanță se poate utiliza cu succes pentru a reduce efectul curenților de mod comun atunci când se măsoară câmpul radiat de antene simetrice [14], [15]. Pentru validarea experimentală [16], [17]: (1) se propun două noi abordări ale metodei medierii în distanță, ținându-se cont de numărul de grade de simetrie ale antenei măsurate; (2) se propune o metodă prin care se poate determina aria efectivă a antenei buclă utilizată ca antenă de măsură și (3) se propune o abordare diferențială pentru evaluarea câmpului magnetic generat de curenții de mod comun de pe cablul de alimentare al antenei.

Se consideră un sistem de măsură alcătuit dintr-o antenă de măsură și o antenă măsurată. Ca antene măsurate au fost utilizate, pe rând, un dipol (antenă cu două grade de simetrie) și o antenă log-periodică (LPDA, antenă cu un singur grad de simetrie), iar ca antenă de măsură a fost utilizată o buclă pătrată.

Se definesc două zone de măsurare: semispațiul care conține linia de alimentare și semispațiul fără linie de alimentare.

În semispațiul cu linia de alimentare se măsoară câmpul de-a lungul cablului de alimentare, pe o direcție perpendiculară pe antenă (pe elementele radiante ale antenei). În semispațiul fără linia de alimentare se măsoară câmpul de pe partea opusă a cablului de alimentare, pe aceeași direcție.

În semispațiul cu linia de alimentare, bucla va măsura două câmpuri și anume: câmpul radiat de antena măsurată și câmpul radiat de curenții de mod comun. În semispațiul fără linia de alimentare, bucla va măsura doar câmpul radiat de antena măsurată.

Se propun două strategii de utilizare a metodei de mediere în distanță, ținându-se cont de numărul de grade de simetrie ale antenei măsurate după cum urmează:

Pentru antena dipol măsurătorile se vor efectua plasând bucla de o parte și de alta a antenei, lăsând cablul de alimentare într-o pozitie fixă (Figura 5.2).



Figura 5.2 Componentele câmpului magnetic măsurat cu antena buclă în cazul utilizării unei antene dipol.

Pentru antena log-periodică se vor efectua măsurători plasând bucla pe direcția principală de radiație a antenei măsurate, dar schimbând pozitia liniei de transmisiuni de o parte și de alta a punctului de alimenate (Figura 5.3).



Figura 5.3 Componentele câmpului magnetic măsurat cu antena buclă: semispațiul care conține linia de alimentare (a) și semispațiul fără linie de alimentare (b).

Pentru fiecare tip de antenă de măsură, se poate evalua efectul curentilor de mod comun de pe linia de alimentare scăzând din rezultatele obținute la o distanță dată din semispațiul conținând linia de alimentare, rezultatele obținute la aceeași distanță din semispațiul fără linia de alimentare. Metoda medierii se va aplica după efectuarea măsurătorilor la mai multe distanțe între antena de măsură și antena măsurată [7].

Din Figura 5.2 și Figura 5.3 se poate determina câmpul magnetic măsurat de buclă care se poate scrie astfel:

$$H_{cablu} = H_{mc} + H_{dipol/LPDA}, \tag{5.1}$$

unde H_{mc} este câmpul generat de curenții de mod comun și $H_{dipol/LPDA}$ este câmpul generat de antenă.

Contribuția curentului de mod comun la câmpul magnetic total se poate exprima astfel:

$$H_{mc} = H_{cablu} - H_{antenä}, \tag{5.2}$$

unde

$$H_{antenn\check{a}} = H_{dipol/LPDA}.$$
 (5.3)

Dacă funcția de transfer se măsoară în *N* puncte diferite, se poate face o mediere în distanță asupra valorilor măsurate astfel încât să se poată elimina efectele propagării pe căi multiple. Atât câmpul ce corespunde căilor de propagare indirecte cât și curenții de mod comun au o distribuție variabilă în funcție de distanță; Astfel, medierea în distanță (Figura 5.5 pentru dipol și Figura 5.6 pentru LPDA) poate reduce semnificativ influența curenților de mod comun asupra preciziei măsurării caracteristicilor de radiație ale antenei.



Figura 5.4 Metoda medierii în distanță aplicată pentru a reduce efectul curenților de mod comun în măsurarea radiației unei antene dipol.



Figura 5.5 Metoda medierii în distanță aplicată pentru a reduce efectul curenților de mod comun în măsurarea radiației unei antene log-periodice: semispațiul care conține linia de alimentare(a) respectiv semispațiul fără linia de alimentare (b).

Separarea câmpului radiat de curenții de mod comun cu ajutorul metodei medierii în distanță

Funcția de trasfer mediată se poate obține cu ajutorul funcțiilor de transfer măsurate pentru fiecare distanță d_k dintre antene:

$$\overline{S}_{21mc} = \sum_{k=1}^{N} d_k \exp(jk_0 d_k) S_{21mc}^{d_k},$$
(5.11)

unde k_0 este constanta de propagare în spațiul liber și d_0 este distanța de referință (setată la 1m).

Se efectuează o corectare a valorilor obținute prin mediere, înmulțind valoarea mediată $S_{21mc}^{d_k}$ cu raportul dintre distanța d_k la care se face măsurătoarea și distanța de referință d_0 ,

$$\overline{S}_{21\,mc.cor} = \sum_{k=1}^{N} \frac{d_k}{d_0} \exp(jk_0 d_k) S_{21\,mc}^{d_k}.$$
(5.18)

În acest mod se poate determina valoarea corectată a câmpului măsurat în semispațiul care conține linia de alimentare, ce nu include efectul curenților de mod comun (prin metoda aplicată aceștia sunt reduși semnificativ):

$$H_{cablu.cor}^{d_k} = d_k \exp\left(-jk_0 d_k\right) \overline{H}_{cablu}.$$
(5.19)

Utilizând ecuația (5.19) se poate obține valoarea câmpului corectat pentru o anumită distanță, prin simpla multiplicare cu aceasta a câmpului măsurat, având în vedere faptul că valoarea mediată corespunde unei distanțe de 1m între antene.

5.2.2 Determinarea ariei efective a buclei de măsură cu ajutorul metodei medierii în distanță

Una dintre antenele măsurate (LPDA) a fost calibrată anterior într-o cameră compactă într-o configurație de tip semispațiu fără linie de alimentare (Figura 5.8).



Figura 5.6 Calibrarea antenei log-periodice

Prin urmare, antena LPDA într-o configurație semispațiu fără linie de alimentare se poate utiliza ca antenă de măsură în vederea calibrării buclei. În plus, bucla calibrată astfel se poate utilza mai departe ca antenă de măsură pentru orice alt tip de configurație, de exemplu pentru antena LPDA într-un semispațiu cu linie de alimentare, sau un dipol într-un semispațiu cu sau fără linie de alimentare.

Întrucât bucla se va utiliza ca antenă de măsură, este de preferat ca aceasta să fie caracterizată prin aria sa efectivă și nu prin câștigul realizat,

$$A_{e} = \frac{4\pi d^{2}}{G_{t}} \frac{R_{0}}{R_{a2}} \frac{\left|S_{21}\right|^{2}}{\left|1 - S_{22}\right|^{2} \left(1 - \left|S_{11}\right|^{2}\right)}.$$
(5.24)

Configurația de măsură este prezentată în Figura 5.10.



Figura 5.7 Metoda medierii în distanță

5.2.3 Validarea experimentală

Pentru validarea metodei, s-au măsurat pe rând un dipol și o antenă log-periodică, utilizând ca antenă de măsură o antenă buclă. Dipolul are o lungime totală de 9cm și rezonează la aproximativ 1.2GHz. Antena log-periodică are dimensiunea de 13x13cm și a fost proiectată pentru gama de frecvențe 800MHz-3GHz. Bucla pătrată are latura de 2cm. Măsurătorile au fost efectuate într-o cameră obișnuită din interiorul unei clădiri.

În Figura 5.12 este reprezentată funcția de transfer a sistemului pentru fiecare dintre cele opt distanțe dintre antena buclă și antena măsurată (cuprinse între 25 și 60cm). Pe același grafic a fost reprezentat și rezultatul obținut în urma medierii.



Figura 5.8 Funcțiile de transfer normate și media obținută



Aria efectivă a buclei este reprezentată în Figura 5.13:

Figura 5.9 Aria efectivă a buclei

După calibrarea buclei, s-a determinat efectul curenților de mod comun prin măsurarea funcțiilor de transfer atât în semispațiul cu linie de alimentare cât și în cel fără linie de alimentare. În Figura 5.14 și Figura 5.15 sunt prezentate configurațiile de măsură pentru fiecare antenă măsurată.



Figura 5.10 Configurația de măsură pentru dipol: "semispațiul cu linia de alimentare" (a) și "semispațiul fără linia de alimentare" (b)



Figura 5.11 Configurația de măsură pentru LPDA: "semispațiul cu linia de alimentare" (a) și "semispațiul fără linia de alimentare" (b)

Pentru antena dipol măsurătorile au fost efectate pentru distanțe cuprinse între 5 și 40cm cu pas de 5cm, pentru ambele semispații. Pentru LPDA distanțele dintre antene au fost setate între 25 și 60 cm, cu același increment. Toate distanțele îndepliesc condițiile zonei Fresnel [18]. Atât pentru antena dipol cât și pentru LPDA, măsurătorile au fost efectuate la frecvențe cuprinse între 1,5GHz și 3GHz. Câmpul magnetic generat de curenții de mod comun se poate determina scazând rezultatele măsurate în semispațiul fără linie de alimentare din rezultatele măsurate în semispațiul care conține linia de alimentare (Figura 5.16).



Figura 5.12 Câmpul magnetic generat de curenții de mod comun: dipol (a) și LPDA (b)

Curenții de mod comun au un impact mai mare pentru antena dipol, acest lucru se întâmplă pentru că la LPDA circuitul de alimentare are efect de simetrizare (balun) [19].

În Figura 5.17 este reprezentată contribuția curentului de mod comun la curentul de la ieșire, măsurat pentru fiecare dintre cele opt distanțe dintre antena buclă și antena măsurată. Tot în această figură este reprezentat și rezultatul obținut în urma medierii.



Figura 5.13 Contribuția curentului de mod comun la curentul de ieșire vs valoarea obținută prin mediere: dipol (a) și LPDA (b)

Se poate observa că prin aplicarea metodei medierii în distanță se reduce semnificativ contribuția curentului de mod comun.

În Figura 5.18 este prezentată variația câmpului magnetic corectat în funcție distanță și frecvență.



Figura 5.14 Variația în funcție distanță și frecvență a câmpului magnetic corectat măsurat în semispațiul care conține linia de alimentare

În Figura 5.19 este reprezentat câmpul magnetic din semispațiul care conține linia de alimentare, cu și fără corectarea efectului produs de curentul de mod comun, versus câmpul măsurat în semispațiul fără linie de alimentare. Distanța dintre buclă și antena măsurată a fost setată la 40cm.



Figura 5.15 Câmpul măsurat în semispațiul care contine linie de alimentare, varianta corectată și necorectată versus câmpul măsurat în semispațiul fără linie de alimentare: dipol(a) și LPDA (b)

Se poate observa că valoarea câmpului corectat din semispațiul care conține linia de alimentare tinde să se apropie mai mult de valoarea câmpului măsurat în semispațiul fără linia de alimentare.

Pentru fiecare antenă măsurată a fost calculată eroarea pătratică medie, obținânduse o scădere de la 71% la 29% pentru dipol și de la 6,2% la 3,1% pentru LPDA, deci o înjumătățire a erorii pentru ambele antene.

5.3 Studiu de caz: antene asimetrice

5.3.1 Separarea efectelor surselor de radiație

Se va utiliza, ca antenă măsurată un monopol alimentat de un cablu coaxial, iar ca antenă de măsură, o buclă pătrată.

În funcție de modul în care este plasată bucla, se definesc două configurații de măsură: "polarizare xOy" atunci când bucla este poziționată în planul xOy, planul cablului coaxial (Figura 5.20) și "polarizare yOz", atunci când bucla măsoară contribuția la radiație a distribuției de curent de pe planul de masă care se gasește în planul yOz (Figura 5.21).

Pentru polarizarea *yOz* (contribuția planului de masă la radiație) există două posibilități de măsurare:

a) plasând bucla în planul yOz, adică perpendicular pe cablul coaxial (Figura 5.21a).

b) deplasând cablul coaxial în poziții simetrice situate de o parte și de alta a direcției inițiale a acestuia și mediind valorile măsurate astfel încât contribuția curenților de mod comun să fie redusă substanțial (Figura 5.21b). Pentru această configurație de măsură doar cablul se va deplasa în diferite poziții, în timp ce bucla va avea aceeași orientare ca în cazul configurației "polarizare *xOy*".

Pentru configurația "polarizare *xOy*", bucla va măsura două câmpuri, câmpul generat de antena măsurată și câmpul generat de curenții de mod comun de pe cablul de alimentare al monopolului.



Figura 5.16 Componentele câmpului magnetic măsurat cu antena buclă pentru configurația de măsură "polarizare xOy"

Pentru configurația "polarizare yOz", bucla va măsura un singur câmp și anume, câmpul generat de antena măsurată întrucât:

a) prin plasarea buclei perpendicular pe cablu, câmpul magnetic generat de curenții de mod comun devine paralel cu bucla.

b) modificând poziția cablului coaxial de o parte şi de alta a poziției inițiale, contribuția la radiație a curenților de mod comun variază în funcție de poziția cablului, în timp ce contribuția radiației antenei rămâne neschimbată. Prin urmare, calculând o medie peste acest set de valori, contribuția variabilă a curenților de mod comun tinde să se anuleze.



Figura 5.17 Componentele câmpului magnetic măsurat cu antena buclă pentru configurația de măsură "polarizare yOz": a) bucla perpendiculară pe cablu și b) deplasarea cablului

Medierea în distanță poate reduce semnificativ influența curenților de mod comun asupra preciziei măsurării caracteristicilor de radiație ale antenei, pentru polarizarea xOy(Figura 5.22) dar și pentru polarizarea yOz în cazul mutării cablului coaxial (Figura 5.23b). În plus, metoda medierii în distanță se va aplica pentru ambele polarizări și cu scopul de a reduce efectul căilor multiple de propagre (Figura 5.22), (Figura 5.23).



Figura 5.18 Tehnica aplicării metodei medierii în distanță pentru configurația de măsură "polarizare xOy "



Figura 5.19 Tehnica aplicării metodei medierii în distanță pentru configurația de măsură "polarizare yOz:" bucla perpendiculară pe cablu" (a) și "deplasarea cablului" (b)

Valoarea corectată a câmpului măsurat pentru configurația cu polarizare xOy, ce nu include efectul curenților de mod comun:

$$H_{xOy.cor}^{d_k} = d_k \exp\left(-jk_0 d_k\right) H_{xOy}.$$
(5.35)

5.3.2 Validarea experimentală

Pentru validarea metodei s-a utilizat ca antenă măsurată o antenă monopol având lungimea elementului radiant de 25cm și lungimea unei laturi a planului pătrat de masă, de 10cm. Ca antenă de măsură s-a utilizat o buclă pătrată, calibrată anterior, având latura de 2cm. Configurația de măsură prezentată în Figura 5.25. Măsurătorile au fost efectuate într-o cameră obișnuită din interiorul unei clădiri. Pentru configurația polarizare *yOz* cu deplasarea cablului, s-au efectuat măsurători pentru cinci poziții diferite ale cablului (cu bucla poziționată conform configurației *xOy:* aceleași distanțe, aceeași direcție).

Măsurătorile au fost efectate pentru distanțe cuprinse între 10 și 40cm cu pas de 5cm, pentru ambele configurații de măsură și la frecvențe cuprinse între 1,5GHz și 3GHz.



Figura 5.25 Configurația de măsură: "polarizare xOy" (a), "polarizare yOz- bucla perpendiculară pe cablu" (b) și "polarizare yOz- deplasarea cablului" (c)

În Figura 5.26 este reprezentată contribuția curentului de mod comun la curentul de la ieșire, măsurat pentru fiecare dintre cele șapte distanțe dintre antena buclă și antena măsurată. Tot în această figură este reprezentat și rezultatul obținut în urma medierii.



Figura 5.26 Contribuția curentului de mod comun la curentul de ieșire vs valoarea obținută prin mediere: polarizare yOz cu bucla perpendiculară (a), polarizare yOz cu deplasare cablu (b)

Se poate observa că prin aplicarea metodei medierii în distanță se reduce semnificativ contribuția curentului de mod comun. Astfel, se demonstrează că cele două configurații alese pentru polarizarea *yOz*, conduc la obținerea unor rezultate foarte apropiate.

Câmpul magnetic generat de curenții de mod comun se poate determina scăzând, pe rând, rezultatele măsurate pentru cele două configurații cu polarizare yOz din rezultatele măsurate pentru configurația cu polarizare xOy (Figura 5.27). Trebuie precizat că, o astfel de determinare este posibilă fără a considera vreo diferență de fază între cei doi termeni, având în vedere că metoda medierii în distanță aduce centrele de fază ale ambelor surse de radiație, în origine.



Figura 5.27 Câmpul magnetic generat de curenții de mod comun la o distanță de 40cm între antena de măsură și antena măsurată

În Figura 5.29 este reprezentat câmpul magnetic obținut pentru configurația cu polarizare xOy, cu și fără corectarea efectului produs de curentul de mod comun, versus câmpul măsurat pentru configurația cu polarizare yOz. Distanța dintre buclă și antena măsurată a fost setată la 40cm.



Figura 5.29 Câmpul măsurat pentru configurația cu polarizare xOy, varianta corectată și necorectată, versus câmpul măsurat pentru configurația cu polarizare yOz:bucla perbendiculară (a) și cablu deplasat (b)

Se poate observa că valoarea câmpului corectat obținut pentru configurația cu polarizare xOy tinde să se apropie mai mult de valoarea câmpului obținut pentru configurația cu polarizare yOz. Cele mai bune rezultate se obțin pentru frecvențe mai mari de 2GHz, adică frecvențe pentru care eficiența buclei este maximă.

Aplicarea metodei medierii în distanță conduce la o scădere a erorii de la 21% la 7% pentru aceast tip de antenă.

Capitolul 6 Concluzii

În această lucrare s-a abordat problema separării efectelor radiației produse de curenții de mod comun de pe cablul de alimentarea al unei antene din câmpul total radiat de ansamblul format din antenă și fider.

Metodele propuse au fost validate cu succes prin măsurători efectuate într-un mediu cu căi multiple de propagare, apelându-se la tehnica medierii în distanță pentru reducerea influenței obstacolelor din aplasamentul de măsurare. În toate validările experimentale efectuate erorile cauzate de radiația curenților de mod comun au fost reduse de cel puțin două ori.

6.1 Rezultate obținute

Au fost abordate două direcții de cercetare privind separarea efectelor radiației generate de curenții de mod comun la măsurarea câștigului antenelor într-un mediu cu căi multiple de propagare.

O primă direcție este prezentată în capitolul 4 și constă în separarea în polarizare a celor două două surse de radiație (antena și respectiv cablul al cărui conductor exterior este parcurs de curenții de mod comun) atunci când acest lucru este posibil. În acest scop s-a utilizat o antenă cu polarizare liniară, de bandă ultra-largă (un dipol biconic).

În scopul eliminării efectelor căilor multiple de propagare a fost utilizată tehnica medierii în distanță, aplicată pentru prima dată într-o direcție secundară de radiație, metoda dovedindu-se eficientă și în acest caz, în ciuda disproporției dintre câmpul produs de antenă în direcția principală de radiație și câmpul produs de curenții de mod comun. S-a demonstrat, astfel, că metoda medierii în distanță funcționează cu o precizie ridicată chiar și în condițiile reflexiei, difracției și rotirii polarizării câmpului produs de antenă în direcția principală de radiație, pe obstacole. Validările experimentale s-au efectuat pe o arie log-periodică de dipoli simetrici, alimentată printr-un cablu coaxial. A fost aleasă ca referință pentru evaluarea rezultatelor metoda ferestruirii în domeniul timp, în care stabilirea lungimii ferestrei de timp s-a făcut în corelație cu cea mai scurtă dintre căile indirecte de propagare, pentru a putea compensa caracterul dispersiv al fiderului, ca radiator.

Cea de-a doua direcție de cercetare în scopul separării efectelor celor două surse de radiație este prezentată în capitolul 5 și constă în măsurarea separată a câmpului în două configurații, utilizând o antenă cu polarizare duală, de tip buclă. Într-una dintre cele două configurații curentul indus în buclă este proportional cu câmpul produs de întregul ansamblu (antenă și fider), iar în cealaltă configurație curentul indus este proporțional doar cu câmpul produs de antenă. Au fost concepute trei strategii care să permită astfel de măsurători, în următoarele cazuri: antenă simetrică cu un singur grad de simetrie (de exemplu antena log-periodică), antenă simetrică cu două grade de simetrie (de exemplu dipol) și respectiv antena asimetrică (de exemplu monopol). În toate cazurile studiate câmpul produs de ansamblul antenă-cablu a fost măsurat la diferite distante de-a lungul cablului de alimentare. Câmpul produs de curenții de mod comun de pe exteriorul cablului de alimentare a putut fi extras aplicând o procedură diferențială asupra seturilor de măsurători efectuate în cele două configurații. În plus, variabilitatea distribuției curentului de mod comun de-a lungul cablului a permis dezvoltarea unei noi metode bazate pe tehnica medierii în distantă în scopul eliminării radiatiei curentilor de mod comun într-un sistem de măsurare a câștigului antenelor. Validarea experimentală pe cele trei tipuri de antene prezentate mai sus a condus la o ameliorare a preciziei de cel putin două ori.

6.2 Contribuții originale

1. Separarea în polarizare a câmpului radiat de antenă și de cablul coaxial al cărui conductor exterior este parcurs de curenții de mod comun într-un mediu cu căi multiple de propagare, aplicând pentru prima dată tehnica medierii în distanță într-o direcție secundară de radiație [LO2].

2. O nouă modalitate de aplicare a metodei ferestruirii în domeniul timp, în care stabilirea lungimii ferestrei de timp s-a făcut în corelație cu cea mai scurtă dintre căile indirecte de propagare, pentru a putea compensa caracterul dispersiv al fiderului, ca radiator [LO2].

3. O nouă metodă de separare a câmpului radiat de antenă și de cablul coaxial al cărui conductor exterior este parcurs de curenții de mod comun într-un mediu cu căi multiple de propagare, constând în măsurarea separată a câmpului în două configurații; într-una dintre cele două configurații curentul indus în buclă este proporțional cu câmpul produs de întregul ansamblu (antenă și fider), iar în cealaltă configurație curentul indus este proporțional doar cu câmpul produs de antenă [LO1], [LO3],[LO4], [LO6].

4. Determinarea ariei efective a unui antene într-un mediu cu căi multiple de propagare cu ajutorul tehnicii medierii în distanță [LO1], [LO5].

5. Dezvoltarea unei noi strategii de amplasare a antenei de măsură care să permită separarea câmpului radiat de antenă și de cablul coaxial în cazul unei antene cu un singur grad de simetrie [LO1], [LO6].

6. Dezvoltarea unei noi strategii de amplasare a antenei de măsură care să permită separarea câmpului radiat de antenă și de cablul coaxial în cazul unei antene cu două grade de simetrie [LO1], [LO3].

7. Dezvoltarea unei noi strategii de amplasare a antenei de măsură care să permită separarea câmpului radiat de antenă și de cablul coaxial în cazul unei antene antene asimetrice [LO4].

8. Determinarea câmpului produs de curenții de mod comun de pe exteriorul cablului de alimentare aplicând o procedură diferențială asupra seturilor de măsurători efectuate în cele două configurații [LO1], [LO3], [LO4], [LO6].

9. O nouă metodă de reducere a efectului radiației curenților de mod comun într-un sistem de măsurare a câștigului antenelor pe baza variabilității distribuției curentului de mod comun de-a lungul cablului [LO1], [LO3], [LO4], [LO6].

6.3 Lista lucrărilor originale

[LO1] A. Constantin, R.D. Tamas, *Evaluation and Impact Reduction of Common Mode Currents on Antenna Feeders in Radiation Measurements*, Sensors, vol. 20, no. 14, Art. no. 14, Jan. 2020, doi: 10.3390/s20143893. - *indexat WoS*, *Q1*.

[LO2] A. Constantin, R.D. Tamas, L. Anchidin, A Distance Averaging Approach for *Measuring the Radiation from Common Mode Currents on Antenna Feeders*, in **Proceedings of the IEEE International Workshop on Antenna Technology**, București, România, pp.1-4, doi: 10.1109/iWAT48004.2020.1570612231, 25-28 Feb. 2020-*indexat WoS* și *IEEE Xplore*.

[LO3] A. Constantin, R.D. Tamas, L. Anchidin, G. Caruntu, A New Method to Reduce the Impact of the Common Mode Currents for Field Measurements on Symmetrical Antennas, in Proceedings of the IEEE International Workshop on Antenna Technology, Miami, Florida, pp.87-90, doi: 10.1109/IWAT.2019.8730606, Mar. 2019 indexat WoS şi IEEE Xplore.

[LO4] A. Constantin, R.D. Tamas, *Radiation from Common Mode Currents on Coaxial Lines Feeding Small Monopole Antennas*, in Proceedings of the IEEE Telecoms Conference (ConfTELE), Leiria, Portugalia, 11-12 Feb. 2021- *indexat WoS* și *IEEE Xplore - lucrare prezentată*.

[LO5] A. Constantin, R.D. Tamas, Loop probe calibration for radiation measurements from common mode currents, in Proceedings of the IEEE International Symposium on Signals, Circuits and Systems, Iaşi, România, pp. 1–4, doi: 10.1109/ISSCS.2019.8801753, Jul. 2019- *indexat WoS* și *IEEE Xplore*.

[LO6] A. Constantin, R. Tamas, Impact Reduction of Common Mode Currents for Field Measurements on Directional Symmetrical Antennas, 10th SPIE Conference on Advanced Topics in Optoelectronics, in Proceedings SPIE 11718, Advanced Topics in Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies, 1171838, doi: 10.1117/12.2573322, Aug. 2020, Constanta, Romania, SPIE Tracking No. OMN100-148- *indexat WoS*.

6.4 Perspective de dezvoltare ulterioară

Tehnicile de separare a efectului surselor de radiație dezvoltate în această teză de doctorat vor fi aplicate în cadrul unei platforme de măsurare a sistemelor radiante care va fi realizată la Universitatea Maritimă din Constanța începând din al doilea trimestru al anului 2021. Direcțiile de cercetare ulterioare în acest sens vor viza:

1. Îmbunătățirea preciziei prin:

a) realizarea unui sistem cu braț robotic care să deplaseze antena de măsură într-un număr suficient de mare de puncte, cu o precizie ridicată;

b) calibrarea completă a antenei de măsură (antena buclă) prin ridicarea diagramei de radiație în 3D, luând în considerare și proximitatea fiderului antenei măsurate.

2. Aplicarea metodelor dezvoltate într-o cameră anecoidă sub frecvența inferioară de utilizare a acesteia utilizând tehnica medierii în distanță.

Cercetările privind realizarea sistemului de poziționare a antenei de măsură și dezvoltarea algoritmilor de prelucrare a datelor vor constitui obiectul unei cereri de finanțare a unui proiect de cercetare post-doctorală.

Bibliografie

- C. R. Paul and D. R. Bush, "Radiated Emissions from Common-Mode Currents," in 1987 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility, Aug. 1987, pp. 1–7, doi: 10.1109/ISEMC.1987.7570770.
- [2] A. V. Vorobyov, J. H. Zijderfeld, A. G. Yarovoy, and L. P. Ligthart, "Impact common mode currents on miniaturized UWB antenna performance," in *The European Conference on Wireless Technology*, 2005., Oct. 2005, pp. 285–288, doi: 10.1109/ECWT.2005.1617713.
- [3] "IEEE Standard Test Procedures for Antennas," IEEE. doi: 10.1109/IEEESTD.1979.120310.
- [4] J. D. Krieger, E. H. Newman, and I. J. Gupta, "The Single Antenna Method for the Measurement of Antenna Gain and Phase," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 54, no. 11, pp. 3562–3565, Nov. 2006, doi: 10.1109/TAP.2006.884309.
- [5] S. Loredo, G. Leon, S. Zapatero, and F. Las-Heras, "Measurement of Low-Gain Antennas in Non-Anechoic Test Sites through Wideband Channel Characterization and Echo Cancellation [Measurements Corner]," *IEEE Antennas Propag. Mag.*, vol. 51, no. 1, pp. 128–135, Feb. 2009, doi: 10.1109/MAP.2009.4939035.
- [6] C. Lemoine, E. Amador, P. Besnier, J. Sol, J.-M. Flocrh, and A. Laisne, "Statistical estimation of antenna gain from measurements carried out in a mode-stirred reverberation chamber," in 2011 XXXth URSI General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, Aug. 2011, pp. 1–4, doi: 10.1109/URSIGASS.2011.6050694.
- [7] R. D. Tamas, D. Deacu, G. Vasile, and C. Ioana, "A method for antenna gain measurements in nonanechoic sites," *Microw. Opt. Technol. Lett.*, vol. 56, no. 7, pp. 1553–1557, Jul. 2014, doi: 10.1002/mop.28386.
- [8] K. Suto and A. Matsui, "Effects of the common mode on radiation patterns of the tapered slot antenna," in 2017 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP), Phuket, Oct. 2017, pp. 1–2, doi: 10.1109/ISANP.2017.8228749.
- [9] M. Alexander, T. H. Loh, and A. L. Betancort, "Measurement of electrically small antennas via optical fibre," in 2009 Loughborough Antennas Propagation Conference, Nov. 2009, pp. 653–656, doi: 10.1109/LAPC.2009.5352516.
- [10] C. Balanis, Antenna Theory Analysis and Design, 3rd ed. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2005.
- [11] A. Constantin, L. Anchidin, and R. D. Tamas, "A Distance Averaging Approach for Measuring the Radiation from Common Mode Currents on Antenna Feeders," in 2020 International Workshop on Antenna Technology (iWAT), Feb. 2020, pp. 1–4, doi: 10.1109/iWAT48004.2020.1570612231.
- [12] L. Anchidin, R. D. Tamas, G. Caruntu, and C.-A. Ilie, "Near-Field Gain Measurements Using the Distance Averaging Method: Linear Scanning Versus Matrix Scanning," in 2018 USNC-URSI Radio Science Meeting (Joint with AP-S Symposium), Jul. 2018, pp. 107–108, doi: 10.1109/USNC-URSI.2018.8602746.
- [13] Tian Jin, Zhang Linxi, Li Nanjing, and Chen Weijun, "Time-Gating Method for V/UHF Antenna Pattern Measurement inside an Anechoic Chamber," in 2008 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology, Apr. 2008, vol. 2, pp. 942– 945, doi: 10.1109/ICMMT.2008.4540561.
- [14] A. Constantin, L. Anchidin, R. D. Tamas, and G. Caruntu, "A New Method to Reduce the Impact of the Common Mode Currents for Field Measurements on Symmetrical Antennas," in 2019 International Workshop on Antenna Technology (iWAT), Mar. 2019, pp. 87–90, doi: 10.1109/IWAT.2019.8730606.
- [15] A. Constantin and R. Tamas, "Impact reduction of common mode currents for field measurements on directional symmetrical antennas," in *Advanced Topics in*

Optoelectronics, Microelectronics and Nanotechnologies X, Dec. 2020, vol. 11718, p. 1171838, doi: 10.1117/12.2573322.

- [16] A. Constantin and R. D. Tamas, "Evaluation and Impact Reduction of Common Mode Currents on Antenna Feeders in Radiation Measurements," *Sensors*, vol. 20, no. 14, Art. no. 14, Jan. 2020, doi: 10.3390/s20143893.
- [17] A. Constantin and R. D. Tamas, "Loop probe calibration for radiation measurements from common mode currents," in 2019 International Symposium on Signals, Circuits and Systems (ISSCS), Jul. 2019, pp. 1–4, doi: 10.1109/ISSCS.2019.8801753.
- [18] L. Anchidin, R. D. Tamas, A. Androne, and G. Caruntu, "Antenna gain evaluation based on weighting near-field measurements," in 2017 International Workshop on Antenna Technology: Small Antennas, Innovative Structures, and Applications (iWAT), Mar. 2017, pp. 78–81, doi: 10.1109/IWAT.2017.7915322.
- [19] K. Lin and Y. Lin, "Printed log-periodic dipole antenna with an embedded UWB balun," in 2012 Asia Pacific Microwave Conference Proceedings, Dec. 2012, pp. 1361–1363, doi: 10.1109/APMC.2012.6421920.