



Universitatea *Transilvania* din Braşov

TEZĂ DE ABILITARE

**Contribuții la dezvoltarea și aplicarea unor metode numerice în
domeniul simulării propagării undelor și pulsurilor elastice în medii
omogene și neomogene**

Domeniul: INGINERIA MATERIALOR

Autor: CRETU NICOLAE CONSTANTIN

Universitatea: Transilvania din Braşov

BRASOV, 2016

CUPRINS	Pagina
(A) Summary.....	6
(B) Realizări științifice și profesionale și planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	
(B-i) Realizări științifice și profesionale	
Introducere.....	15
Capitolul 1. Contribuții la dezvoltarea și aplicarea metodei dezvoltării în serie a soluției și funcției de neomogenitate.....	21
1.1 Metoda dezvoltării în serie a soluției și funcției de neomogenitate.....	21
1.2 Dezvoltarea metodei pentru medii neomogene.....	24
1.3 Cazul mediilor cu neomogenitate armonice.....	25
Capitolul 2. Contribuții la dezvoltarea formalismului și aplicării metodei matriciale.....	28
2.1 Matricea de discontinuitate.....	28
2.2 Matricea de propagare.....	29
2.3 Matricea de transfer.....	30
2.4 Aplicarea formalismului la reconstrucția undei.....	31
2.4.1 Estimarea factorilor de transmisie și reflexie.....	33
2.5 Implementarea numerică.....	34
2.6 Cazul mediilor armonice.....	35
2.7 Pulsul sinc.....	36
2.8 Pulsul dreptunghiular în frecvență.....	38
2.9 Influența mediilor în care este plasat mediul de interes.....	40
Capitolul 3. Contribuții la formalismul matricial-matricea intrinsecă de transfer.....	43
3.1 Matricea intrinsecă de transfer.....	43
3.2 Cazul simplu-bara omogenă.....	44
3.3 Sisteme binare.....	46
3.4 Vectorii proprii.....	50

Capitolul 4 Contribuții și extinderi ale aplicării matricii intrinseci de transfer.....	52
4.1 Introducerea atenuării.....	52
4.2 Cazul sistemului binar.....	53
4.3 Cazul sistemului ternar.....	55
4.4 Influența setup-ului experimental.....	59
4.5 Influența dispersiei.....	60
4.6 Influența atenuării.....	62
Capitolul 5 Contribuții legate de studiul și optimizarea unor structuri mecanoelastice și acustice.....	64
5.1 Algoritmul simulated-annealing.....	64
5.2 Matricea de transfer și algoritmul de simulare annealing.....	65
5.3 Testări experimentale.....	69
Capitolul 6. Contribuții la prelucrarea semnalelor prin folosirea momentelor statistice de ordin superior.....	72
6.1 Aplicarea statisticilor de ordin superior la analiza granulației pulberilor.....	73
6.2 Aplicarea kurtosisului spectral la detectia și analiza semnalelor tranzitorii.....	75
6.3 Kurtosis-ul spectral (SK) aplicat în NDE.....	75
6.4 Neomogenitate și magnetostricțiune.....	78
Capitolul 7. Cercetări asupra comportării cristalelor sonice. Formalismul split-cuaternionic.....	82
7.1 Studiul comportării cristalelor sonice.....	85
7.2 Formalismul split-cuaternion.....	87
Capitolul 8. Contribuții la dotare și achiziționare aparatură de cercetare.....	92
8.1 Echipament de microunde în banda X	92
8.2 Echipament pentru studiul proprietăților elastice ale materialelor.....	93
8.3 Echipament pentru studiul proprietăților electrice ale materialelor.....	94
8.4 Echipament pentru studiul fibrelor optice.....	95

8.5 Echipament achiziție și prelucrare imagine.....	95
8.6 Echipament pentru studiul proprietăților magnetice ale materialelor.....	96
8.7 Echipament pentru studiul materialelor în câmpuri sonore.....	98
8.8 Echipament pentru studiul comportării unor materiale cu aplicații la senzori de gaze.....	99
Capitolul 9 Alte contribuții în domeniul ingineriei materialelor	100
9.1 Prepararea și studiul unor ferite policristaline de microunde.....	100
9.2 Studiul influenței lichidelor ionice asupra calității și proprietăților furnirelor.....	103
9.3 Studiul și caracterizarea unor materiale ceramice folosite ca electrozi în pilele de combustie IT-SOFC.....	103
9.4 Studii asupra calității și influenței lemnului de rezonanță folosit la confecționarea corpului chitarelor clasice.....	103
(B-ii) Planuri de evoluție și dezvoltare a carierei	104
(B-III) Bibliografie.....	112



Universitatea *Transilvania* din Brașov

HABILITATION THESIS

SUMMARY

Title: Contributions to the progress and application of some numerical methods used in the simulation of pulses and continuous elastic waves propagation in homogeneous and inhomogeneous media

Domain: Engineering of Materials

Author: Nicolae Constantin CREȚU

University: Transilvania Brasov

BRASOV, 2015

The present work presents the main scientific contributions of the author, the approached research topics and achievements illustrated by published scientific papers and books. One can distinguish few stages and research topics over the years.

The first stage contains preoccupations in the preparation and elaboration of polycrystalline garnets in order to be used in passive microwave circuits. In the same time the autor made theoretic and experimental studies of the propagation phenomenon in such materials and also performed some microwave oscillators with semiconductor devices with YIG and Yttrium and Dysprosium garnets. The scientific activity from that period was corelated with the doctoral thesis, title obtained in 1998. In the same period author the author has build an electronic device, Magnetic Fluxmeter FIM02, in order to be used to magnetic measurements of elaborated materials. The device was tested, calibrated and was also the subject of the metrological approval at the National Romanian Office for Standards Bucharest. The device was subject of a scientific contract with Electromagnetica Bucharest, and also it was sold to several interested companies (S C Mobistil Urziceni, Electroprecizia Sacele) .

The next stage contains research in the area of propagation of elastic waves and pulses in semiinfinite inhomogeneous media, for which the inhomogeneity can be mathematically described by a continuous function which can be subjected to a series expansion. Research activity from that period was connected to the research activity in a scientific european COPERNICUS project, coordinated by Professor P.P Delsanto, Polytechnical Institute Turin Italy. The partners in this project were scientists from Italy, Czech Republic and Romania.

Within this project I benefited from two research internships to the Turin Politechnic, the scientific results being communicated in special workshops held in Italy, Romania and Czech Republic. The main results of this period was the extension and improvement of the series expansion, method to be applied as simulation method of the propagation of the elastic pulses in inhomogeneous elastic media. The respective method was quickly recognized by the specialists and published in a prestigious journal Journal of the Acoustical Society of America. Scientific reports about this topic were oral communicated also at special international conferences such as COMPAC-Aquasparta Italy and IMSE Michigan USA.

The method of series expansion of the solution and of the inhomogeneity function was generalized to include any type of continuous inhomogeneity, a special approach was dedicated to harmonic media, subject which was later developed in the sonic crystals studies. The research of this stage is presented in Chapter 1.

The method of series expansion has limitations, because it cannot be applied to finite elastic media and elastic media with discontinuities. In order to study the propagation in such media another method was approached, the transfer matrix method which is more general and more appropriate. I studied this method and by introducing of Fourier transformations of elastic perturbation it was possible to improve the matrix method such as to obtain a transfer matrix for Fourier components. The transfer matrix for Fourier components becomes at list for 1D case very simple and symmetric. It is known that matrix algebra is much more suitable for computational calculus, and when we study a multilayer medium the

simulation implies a product of transfer matrix, each layer being characterized by his own transfer matrix. Reserach on this topic was published in Ultrasonics, Computational Materials Science. A lot of researches were dedicated to magnetoelastic media, for which the magnetostriction introduce a spatial inhomogeneity of the elastic characteristic impedance. Such studies can be useful in acuostics and NDT technics. The activity from this stage is presented in the Chapter 2.

The next stage can be considered as the stage of the intrinsic transfer method. By studying multilayered media, obtained by many metallic cilindrs I obseved that the Fourier analysis is highly reproductibile, from the point of view of the Fourier components. Certainly it comes from eigenfrequencies of the eigenmodes of the whole elastic system, in which the elastic wave is confined. Starting from a simple case of a single elastic rod, and considering 1D case, by excluding the semiinfinite external media, in case of stationary wave, I introduced a special transfer matrix propre only to the elastic system. I named this matrix intrinsic transfer matrix and the main property of this matrix is that the eigenvalues becomes real at the eigenfrequencies. Such a behavior is important and the method of the intrinsic transfer matrix provides a way to determine the longitudinal waves velocities. So, the intrinsic transfer matrix can be useful to estimation of the elastic constants for such materials which are inadequate to be measured by clasical resonance methods (such as for example special ceramics). For such a materials, small embedded cylindrical samples in an elastic system, which contain also gauge materials, the finding of the eigenfrequencies and a numeric estimation, permits the finding of the elastic constants. Research on this

topic were published in Mechanics of Materials and Journal of Sound and Vibration (Elsevier). Studies on this topic are presented in Chapter 3.

The next stage contains research dedicated to improve the intrinsic transfer matrix in order to include the attenuation (this phenomenon must be considered when the samples dimension is significant), dispersion and the influence of the experimental arrangement. The studies have shown that experimental setups with ternary systems are suitable in elastic constants estimation, with two gauge materials and the sample of interest. Research studies on this topic were sent for publication to the review Case Studies in Mechanical Systems and Signal Processing (Elsevier). This research is presented in Chapter 4.

The intrinsic transfer method is very suitable to be combined with optimization algorithms, especially for multilayered media, in order to obtain acoustical structures for acoustic filters or in acoustic pollution. Together with my team I developed an optimization method to design desired acoustical structures based on simulated annealing algorithm. In that case the cost function of the algorithm is obtained by means of the transfer function of the system, finally is considered such design which minimize the cost function. Transfer function is obtained by considering for the acoustic arrangement the intrinsic transfer matrix. Papers on this topic are communicated at International Congress on Ultrasonics Santiago de Chile, DAAAM Symposium Vienna and published in Computational Materials Science, Physics Procedia. The research activity from this stage is presented in Chapter 5.

In november 2005 at my request I enjoyed a research stage at the New Jersey Institute of Technology USA, at my collaborator Mr. G. Nita, research

Professor in Physics Department. The team coordinated by Professor Dale Garry made studies in astrophysics, by detection and analysis of the solar microwave spectrum. The team uses as method for analysis some statistical magnitudes, as Kurtosis and Spectral Kurtosis. A such analysis was able to detect transient signals in solar radiation correlated with solar storms and solar weather. I discussed with american scientists about the capability of the method to be used in NDT techniques if we are able to introduce a calculus of Kurtosis in Fourier domain. I improved the method and I applied to the magnetoacoustic emission, in order to detect defects inside of the magnetic materials, for example steel rods. Research on this topic were communicated at International Congress on Ultrasonics Vienna and NDT in Progress-International Meeting of NDT Experts Praga. The activity of this satge is presented in Chapter 6.

Because the intrinsic transfer matrix for 1D case has a very simple and simetric form, very similar with the matrix of a split cuaternion in matrix representation, and because transfer matrix of a system of two layers for example can be obtained as a product of the transfer matrices of layers, like the product of two cuaternions, from the mathematical point of view is possible to consider a multilayered medium as a product of cuaternions in matrix representation. Examination of the whole cuaternion matrix and his eigenvalues in the resonance case permits to estimate some defects in the layers arrangement of the medium. Research activities on this topic were communicated to Interantional Congress on Ultrasonics Metz France, published in Physics Procedia and also sent to publication in Computational Mechanics. The activity from this stage is presented in Chapter 7.

A significant part of my research activity I developed in scientific interdisciplinary collaborations with scientists from Transilvania University or INCDFM Bucharest. The main collaborations are exposed in the next topics:

- a. Study of the influence of the ionic liquids on the properties of the poplar veneers
- b. Studies and characterizations of some ceramic materials used as solid electrodes in IT-SOFC fuel cell.
- c. Study of the influence of the wood quality on the performance of classical guitar
- d. Studies and electrical measurements on the oxidic monolayers obtained by sputtering

The activity from this stage is presented in Chapter 9.

All my research activities must be correlated with a very intensive of procurement purchasing and providing activity in order to equip with modern and actual equipment my research laboratory Laboratory of Physical Acoustics and our laboratory from the Institute ICDT. The activity from this domain is presented in Chapter 8.

From the point of view of professional experience, my achievements are correlated to my activity as Associated Professor in the Department of Electrical Engineering and Applied Physics, department which was formed by merging Physics Dept. and Electrotechnical Dept. from Transilvania University. As special achievements I remember:

-I am author of 3 monographies:

- 1 Nicolae Crețu-*Fizica generală*- Editura Didactică și Pedagogică, București 2003 ISBN 973-30-2502-X
2. Nicolae Crețu- *Fizica si tehnica microundelor*- Editura Universitatii Transilvania din Brașov 2006,-ISBN 973-635-840-2 (978-973-635-840-1)
- 3.Nicolae Crețu, Ioan. Sturzu-*Electrodinamica si teoria relativitatii-vol.I*--Editura AXA București 1998, ISBN 973-97408-4-7

-I am the author of 4 manuals for my students as follows:

1. Nicolae Crețu *Bazele Fizicii*, Editura Universității Transilvania Brașov, ISBN 978-973-598-716-9, 2010, 268 pagini
2. Nicolae Crețu, *Fizica pentru ingineri*- Editura Universității Transilvania Brașov, ISBN 978-606-19-0062-6, 2012, 267 pagini
3. Nicolae Crețu, *Fizica, Curs pentru Invatamant la Distanță*), Departamentul pentru Invățământ la Distanță si Invățământ cu Frecvență Redusă, Reprografia Univ Transilvania Brasov 2008, 159 pagini
4. Nicolae Crețu,*Fizica, Curs pentru Invatamant cu Frecvență Redusă*, Departamentul pentru Invățământ la Distanță si Invățământ cu Frecvență Redusă, Reprografia Univ Transilvania Brasov 2008, 173 pagini

-I am co-author to a book of Physics Problems for students, a book of Laboratory Works and an on-line book of Parctical Laboratory Works for Physics as follows :

1. I.Inta, D.Jecu, S. Dumitru, N.Cretu-Culegere de probleme de fizica, Reprografia Universitatea din Brasov, Brasov 1990
2. Colectivul Catedrei de Fizică,Lucrări de laborator de Fizică, Reprografia Universității din Brașov, Brașov 1985
3. Cretu N- Lucrari de laborator de fizica on line-
<http://menelaus.unitbv.ro/laboratoare.htm>

As professor in physics I teach to students the next courses:

1. Course of General Physics to the students in Computers, Electronics and Telecommunications, Faculty of Electrical Engineering and Computer Science, Transilvania University Brasov
2. Course of General Physics to the students in Environment Protection, Renewable Energies, Industrial Design, Faculty of Product Design and Environment
3. Course and applications on Mathematics and Physics for Engineering Knowledge, to the MASTER students , Faculty of Product Design and Environment
4. Cours and applications on Mehanics Experiments, to the MASTER students Faculty of Mechanical Engineering.
5. Course of Special Course of Physics for Medical Engineering, Faculty of Product Design and Environment
6. Course and applications on Physics of Materials for students in Biomaterials, Faculty Engineering of the Materials

Introducere

Lucrarea de față prezintă principalele contribuții științifice ale autorului, domeniile de cercetare abordate și realizările aferente marcate mai ales prin articole și carti publicate în literatura de specialitate.

Se pot distinge câteva etape clare în activitatea de cercetare, corelate și cu o anumită eșalonare în timp, după cum urmează:

Prima etapă conține preocupări în domeniul elaborării unor materiale de tipul granat – cu proprietăți feromagnetice și aplicarea acestora la circuitele pasive de microunde. Evident s-a făcut și un studiu al propagării în astfel de medii a microundelor și au fost construite generatoare de microunde folosind cavități din YIG și $Y_3-xDyxFe_5O_{12}$. Preocupările din acest domeniu au fost corelate cu activitatea de cercetare pentru obținerea doctoratului, titlu obținut în 1998. Tot în această perioadă autorul a construit și autorizat metrologic aparatul FIM 02, un fluxmetru magnetic integrator, util în măsurători magnetice la caracterizarea materialelor dure și moi (aparatul a făcut și obiectul unui contract de cercetare, fiind apoi livrat și câtorva firme din domeniu cum ar fi Electromagnetica Bucuresti și Electroprecizia Săcele).

Următoarea etapă conține cercetări în domeniul propagării undelor și pulsurilor elastice în medii neomogene semiinfinite, la care neomogenitatea poate fi descrisă printr-o funcție continuă și care matematic poate fi dezvoltată în serie. Activitatea de cercetare din această perioadă s-a derulat și în cadrul unui proiect european de tipul COPERNICUS, coordonat de către Profesorul P. P. Delsanto (Politehnica din Torino), din proiect făcând parte cercetători din Italia, Cehia și România. Activitatea de cercetare în cadrul acestui proiect a inclus și două perioade de cercetare desfășurate la Torino, în strânsă colaborare cu cercetătorii italieni. Rezultatele acestei cercetări au condus la extinderea metodei dezvoltării în serie a soluției și funcției de neomogenitate ca metodă de simulare a propagării undelor continue și pulsurilor în medii elastice neomogene. Metoda a fost rapid recunoscută și publicată în una din cele mai prestigioase reviste de specialitate din domeniu, Journal of the Acoustical Society of America. Comunicări pe această temă s-au făcut în cadrul unor prestigioase manifestări internaționale cum ar fi COMPAC și IMSE. Un loc aparte l-au constituit în acest caz mediile cu neomogenitate

armonică, care pot avea impotante aplicatii. Activitatea de cercetare din această etapă este prezentată în Capitolul 1.

Metoda dezvoltării în serie nu poate fi aplicată mediilor finite și mediilor cu discontinuități. Pentru a studia propagarea în astfel de medii s-a trecut la o metodă mai generală, metoda matricii de transfer. În cadrul acestei etape am extins aplicarea metodei matricii de transfer pentru transformatele Fourier ale perturbațiilor elastice, artificiu matematic care permite o mai rapidă calculare a matricii de transfer, care în cazul 1D devine simplă și simetrică. Operațiile cu matrici permit o mai ușoară simulare a perturbației elastice prin medii elastice, și de asemenea reconstrucția semnalului în punctele de interes ale mediului. Cercetările pe această temă au fost publicate în *Ultrasonics* și *Computational Materials Science*. Un loc aparte în aceste cercetări l-au ocupat mediile magnetoelastice, la care magnetostricțiunea în câmpuri neomogene conduce la neomogenitatea impedanței caracteristice elastice. Astfel de medii pot avea aplicații în acustică și în domeniul defectoscopiei. Activitatea de cercetare din această etapă este prezentată în Capitolul 2.

Studiind din punct de vedere experimental fenomenul de propagare a pulsurilor elastice prin medii de tipul multistrat, obținute prin conectarea unor straturi metalice, am fost surprins de repetabilitatea rezultatelor experimentale în ceea ce privește frecvențele semnalului transmis, obținute prin analiză Fourier. Evident acestea erau modurile proprii ale sistemelor cercetate, moduri care se obțin atunci când unda este confinată în interiorul sistemului elastic. Plecând de la cazul simplu al unei bare elastice cu propagare longitudinală, am reușit să îmi dau seama că în acest caz nu contează mediile exterioare sistemului elastic, ci contează numai undele care se propagă în sistem. În acest caz am definit pentru sistem o matrice proprie pe care am numit-o matrice intrinsecă de transfer care are proprietatea că la frecvențele modurilor proprii ale sistemului are valori proprii reale. Acest comportament este foarte important nu numai teoretic dar și practic întrucât permite determinarea vitezei undelor longitudinale în materiale care intră în configurația sistemului elastic, iar aceasta permite mai departe estimarea modulului de elasticitate al materialului. Metoda matricii intrinseci de transfer este prin urmare extrem de utilă pentru determinarea constantelor elastice la materiale care nu pot fi cercetate prin metodele clasice de rezonanță, de exemplu ceramici

speciale care nu pot fi confecționate la dimensiuni mari astfel încât să prezinte rezonanțe în domeniul măsurabil. Pentru astfel de probe se pot confecționa probe disc, care înglobate în sisteme binare (ex. Alamă-ceramica) sau ternare (alamă-ceramică-aluminiu, alamă-ceramică-alamă) , prin măsurarea frecvențelor proprii ale sistemului și ținând cont de caracterul real al valorilor proprii ale matricii intrinseci de transfer putem determina viteza undelor longitudinale în aceste probe. Cercetări legate de teoria și aplicarea matricii intrinseci de transfer au fost publicate în *Mechanics of Materials* și *Journal of Sound and Vibration*. Activitatea de cercetare din această etapă este prezentată în Capitolul 3.

Metoda matricii intrinseci de transfer a fost apoi generalizată pentru a include și atenuarea, fenomen care trebuie luat în calcul atunci când dimensiunea mediului elastic pe direcția propagării este semnificativă. S-au făcut de asemenea studii legate de influența mediilor conexe din sistemele ternare, care sunt considerate medii etalon. S-a studiat de asemenea influența coeficientului de atenuare asupra frecvenței modurilor proprii ale sistemului. Lucrarea pe aceasta tema a fost trimisă la revista *Case Studies in Mechanical Systems and Signal Processing*. Activitatea de cercetare din această etapă este prezentată în Capitolul 4.

Metoda matricii intrinseci de transfer poate fi combinată cu succes cu algoritmi de optimizare ai unor structuri de tipul multistrat, cu scopul proiectării unor materiale care să fie folosite în izolare fonică sau ca filtre acustice. Algoritmul pe care l-am utilizat este *simulated annealing*. În acest caz funcția de cost specifică acestui algoritm este definită în funcție de funcția de transfer prescrisă și funcția de transfer a structurii supuse optimizării, considerându-se cea structură care minimizează funcția de cost. Articole pe această tematică au fost comunicate la *International Congress on Ultrasonics Santiago de Chile*, *Simpozionul DAAAM Viena* și de asemenea au fost publicate în *Computational Materials Science* și *Physics Procedia*. Activitatea de cercetare din această etapă este prezentată în Capitolul 5.

În anul 2005 am avut un stadiu de cercetare de o lună la colaboratorul meu Dl Gelu Niță, research professor la *New Jersey Institute of Technology*, Departamentul de Fizică. Echipa coordonată de profesorul Dale Garry folosea analiza statistică de semnal, mai precis analiza

Kurtosis la studiul fenomenelor tranzitorii din radiația solară de microunde. Ideea pe care am avansat-o și pe care am și aplicat-o a fost de a folosi această analiză și în cazul analizei de semnal magnetoacustic. Am dezvoltat această metodă în spațiul Fourier și am aplicat-o la studiul fenomenului de emisie magnetoacustică, studiul punând în evidența capabilitatea metodei de a fi aplicată în NDT. Comunicări pe această temă am avut în special la Congresul ICU și la conferințele NDT din Cehia. Activitatea de cercetare din această etapă este prezentată în Capitolul 6.

Intrucât matricea intrinsecă de transfer are o anumită formă, similară cu un split cuaternion în reprezentare matricială, și întrucât matricea produsului de doi cuaternioni poate fi scrisă ca un produs al celor două matrici ale cuaternionilor, înseamnă că pentru un mediu multistrat format din n elemente binare periodice matricea de transfer are o anumită formă, iar în cazul unui defect o altă formă. Prin urmare evaluarea la rezonanță a componentelor matricii globale ale sistemului ne permite să estimăm existența unui defect de aranjare a straturilor mediului și poziția acestui defect. Lucrări pe această tematică au fost comunicate la International Congress on Ultrasonics Metz Franța (2015), în Physics Procedia și de asemenea au fost trimise spre publicare la Computational Mechanics. Activitatea de cercetare din această etapă este prezentată în Capitolul 7.

O parte a activității de cercetare în domeniul materialelor s-a derulat în cadrul unor colaborări interdisciplinare cu colective din Universitatea Transilvania sau INCDFM Măgurele, dintre acestea pot fi menționate:

- a. Studiul influenței lichidelor ionice asupra calității și proprietăților furnirelor
- b. Studiul și caracterizarea unor materiale ceramice folosite ca electrozi în pilele de combustie IT-SOFC
- c. Studii asupra calității și influenței lemnului de rezonanță folosit la confecționarea corpului chitarelor clasice
- d. Studii și măsurători ale proprietăților electrice ale unor structuri oxidice depuse prin sputtering

Activitatea de cercetare din această etapă este prezentată în Capitolul 9.

Toate aceste activități de cercetare trebuie corelate și cu o intensă activitate de achiziție și dotare cu aparatură modernă de cercetare, aparatură care a intrat în dotarea Laboratorului de Acustică Fizică sau la ICDT. Activitatea aferentă prezentei etape este prezentată în Capitolul 8.

În plan profesional realizările mele sunt conectate cu activitatea de cadru didactic pe care o desfășor la Departamentul de Inginerie Electrică și Fizică Aplicată, departament care a luat naștere prin contopirea Catedrei de Electrotehnică și Catedrei de Fizică din Universitatea Transilvania. Ca realizări profesionale menționez:

-sunt autorul a 3 cărți monografii menționate mai jos:

1 **Nicolae Crețu**-*Fizica generală*- Editura Didactică și Pedagogică, București 2003 ISBN 973-30-2502-X

2. **Nicolae Crețu**- *Fizica și tehnica microundelor*- Editura Universității Transilvania din Brașov 2006,-ISBN 973-635-840-2 (978-973-635-840-1)

3.**Nicolae Crețu**, Ioan. Sturzu-*Electrodinamica și teoria relativității-vol.I*- Editura AXA București 1998, ISBN 973-97408-4-7

-sunt autorul la patru manuale didactice, după cum urmează:

5. **Nicolae Crețu** *Bazele Fizicii*, Editura Universității Transilvania Brașov, ISBN 978-973-598-716-9, 2010, 268 pagini

6. **Nicolae Crețu**, *Fizica pentru ingineri*- Editura Universității Transilvania Brașov, ISBN 978-606-19-0062-6, 2012, 267 pagini

7. **Nicolae Crețu**, *Fizica, Curs pentru Învățământ la Distanță*, Departamentul pentru Învățământ la Distanță și Învățământ cu Frecvență Redusă, Reprografia Univ Transilvania Brașov 2008, 159 pagini

8. **Nicolae Crețu**, *Fizica, Curs pentru Învățământ cu Frecvență Redusă*, Departamentul pentru Învățământ la Distanță și Învățământ cu

Frecvență Redusă, Reprografia Univ Transilvania Brasov 2008, 173 pagini

-sunt coautor la o culegere de probleme, un indrumar de lucrari practice de laborator si la un indrumar de lucrari de laborator on-line folosit de catre toti colegii in activitatea curenta de aplicatii la laborator, mentionate mai jos:

4. I.Inta, D.Jecu, S. Dumitru, **N.Cretu**-Culegere de probleme de fizica, Reprografia Universitatea din Brasov, Brasov 1990
5. Colectivul Catedrei de Fizică,Lucrări de laborator de Fizică, Reprografia Universității din Brașov, Brașov 1985
6. **Cretu N**- Lucrari de laborator de fizica on line-
<http://menelaus.unitbv.ro/laboratoare.htm>

Ca si cadru didactic predau următoarele cursuri :

1. Curs de Fizica Generala la an I specilaizarile Calculatoare, Electronica si Telecomunicatii din cadrul Facultatii de Inginerie Electrica si Stiinta Calculatoarelor
2. Curs de Fizica Generala la an I Specializarile IPMI, ISER, DI din cadrul Facultatii de Design de Probus si Mediu
3. Curs și aplicatii Complemente de Matematica si Fizica Aplicate in Inginerie, la specializarea MASTER SMIM, Facultatea Design de Probus si Mediu
4. Curs si aplicatii de Mecanica Experimentala la specializarea MASTER STIM Facultatea de Inginerie Mecanica
5. Curs de Fizica Medicala la anul II, Specializarea Inginerie Medicala, Facultatea de Design de Probus si Mediu
6. Curs si aplicatii de Fizica Materialelor an I Specializarea Ingineria Biomaterialelor , Facultatea SIM

Capitolul 1.

Contribuții la dezvoltarea și aplicarea metodei dezvoltării în serie a soluției și funcției de neomogenitate

1.1 Metoda dezvoltării în serie a soluției și funcției de neomogenitate

Ideea dezvoltării acestei metode se află într-un articol din 1993 scris de Oberle și Cammarata și publicat în JASA [1]. Camarata discută metoda de simulare și modul de aplicare în cazul mediilor omogene elastice și în cazul undelor longitudinale. Am dezvoltat această metodă, astfel încât să poată fi aplicată și pentru medii semiinfinite neomogene, incluzând diferite tipuri de neomogenități: liniare, armonice, exponențiale, etc. Metoda este des folosită în simulări, rezultatele au fost comparate cu cele dezvoltate prin metoda LISA [3], practică de echipa profesorului Delsanto, ale căror contribuții au fost publicate în Wave Motion [4][5][6].

Considerăm ecuația undelor elastice

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(E \cdot S \cdot \frac{\partial u(x,t)}{\partial x} \right) - \rho \cdot S \cdot \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = 0 \quad (1.1)$$

care aplicată la un mediu omogen dă:

$$\frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial x^2} - \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 u(x,t)}{\partial t^2} = 0, \text{ unde } v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (1.2)$$

Introducem transformata Fourier a soluției care este dată de:

$$\tilde{u}(x, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u(x,t) \cdot e^{i\omega t} dt \quad (1.3)$$

și transformata Fourier inversă

$$u(x,t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \tilde{u}(x, \omega) \cdot e^{-i\omega t} d\omega \quad (1.4)$$

Deoarece ea trebuie sa verifice ecuația (2), vom obține o ecuație diferențială liniară de ordinul II pentru transformata Fourier a soluției.

$$\frac{\partial^2 \tilde{u}(x, \omega)}{\partial x^2} + \frac{\omega^2}{v^2} \tilde{u}(x, \omega) = 0 \quad (1.5)$$

Fiind o ecuație diferențială liniară, pot să caut soluția sub forma unei serii de puteri:

$$\tilde{u}(x, \omega) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n(\omega) \cdot x^n \quad (1.6)$$

Făcând derivatele corespunzătoare:

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial x} = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot c_n \cdot x^{n-1} = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1) \cdot c_{n+1} \cdot x^n \quad \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial x^2} = \sum_{n=0}^{\infty} (n+1)(n+2) c_{n+2} \cdot x^n$$

Obținem o relație de recurență pentru coeficienții dezvoltării în serie a soluției:

$$c_{n+2} = -\frac{\omega^2}{v^2} \cdot \frac{1}{(n+1)(n+2)} c_n \quad (1.7)$$

Relația de recurență ne permite să determinăm numai o parte din coeficienții dezvoltării în serie, adică pe c_2, c_3, \dots . Coeficienții c_0 și c_1 se pot determina numai dacă cunoaștem condițiile inițiale, care înseamnă cunoașterea perturbației la momentul inițial $t = 0$, în punctul $x = 0$. Din dezvoltarea în serie a soluției se poate observa că cei doi coeficienți pot fi calculați astfel:

$$\tilde{u}(0, \omega) = c_0$$

$$c_1 = \left. \frac{\partial \tilde{u}(x, \omega)}{\partial x} \right|_{x=0} = -\frac{i\omega}{v} c_0 \quad (1.8)$$

1.2 Simularea propagării unor pulsuri elastice; condiții inițiale particulare

a. Puls gaussian în timp

Acest puls este descris de ecuația

$$u(0,t) = A \cdot e^{-at^2} \quad (1.9)$$

Rezultă că :

$$\begin{aligned} \tilde{u}(0,\omega) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} u(0,t) e^{-i\omega t} dt = \frac{A}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-a(t+\frac{i\omega}{2a})^2} \cdot e^{-\frac{\omega^2}{4a}} dt = \\ &= \frac{A}{2a\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\omega^2}{4a}} \end{aligned} \quad (1.10)$$

și deci transformata Fourier a unui puls gaussian în timp este reprezentată de un puls gaussian în frecvență. Un puls gaussian larg în timp are ca transformată Fourier un puls gaussian îngust în frecvență.

De aici obținem pentru c_0 :

$$c_0 = \frac{A}{2a\sqrt{\pi}} e^{-\frac{\omega^2}{4a}} \quad (1.11)$$

$$c_1 = \frac{\partial \tilde{u}(x,\omega)}{\partial x} \Big|_{x=0} = -\frac{i\omega}{v} c_0 \quad (1.12)$$

b. Puls treaptă de durată T

$$\tilde{u}(0,\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} A \cdot e^{-i\omega t} dt = \frac{AT}{2\pi} \operatorname{sinc}\left(\frac{\omega}{2\pi} T\right) \quad (1.13)$$

b. Puls de tipul sinc

$$u(0,t) = \frac{\sin(\omega_0 t)}{\omega_0 t} \quad (1.14)$$

Transformata Fourier va fi:

$$\tilde{u}(0,\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin(\omega_0 t)}{\omega_0 t} e^{-i\omega t} \cdot dt = \frac{1}{4} [\operatorname{sgn}(\omega + \omega_0) - \operatorname{sgn}(\omega - \omega_0)] \quad (1.15)$$

adică un puls dreptunghiular în frecvență care pleacă de la frecvența $-\omega_0$ și se oprește la pulsația ω_0 .

Avantajul lucrului cu transformata Fourier constă într-o mai facilă descriere matematică a tipurilor de semnale. Se subînțelege că soluția în timp se obține făcând transformata Fourier inversă.

Intrucât soluția ecuației (1.5) pentru transformata Fourier se caută sub forma unei serii de puteri, se pune problema convergenței soluției.

În cazul simulărilor folosind metoda dezvoltării în serie, mediul este discretizat în (felii) intervale identice $\delta x = x_{k+1} - x_k$, fiecare felie de mediu fiind considerată omogenă, astfel că în felia k la poziția $x_k = x_0 + k \cdot \delta x$ avem:

$$\tilde{u}(x_k, \omega) = \sum_{n=0}^N c_n^k \cdot \delta x^n \quad (1.16)$$

Iterațiile succesive care descriu propagarea în mediu consideră următorii coeficienți din dezvoltarea în serie:

$$c_0^k = \begin{cases} \tilde{u}(x_0, \omega), & k = 0 \\ \sum_{n=0}^N c_n^{k-1} \cdot \delta x^n, & k > 0 \end{cases} \quad (1.17)$$

$$c_1^k = \begin{cases} \frac{i\omega}{c} \cdot c_0^k, & k = 0 \\ \sum_{n=0}^N n \cdot c_n^{k-1} \cdot \delta x^{n-1}, & k > 0 \end{cases} \quad (1.18)$$

1.2 Dezvoltarea metodei pentru medii neomogene

Dacă neomogenitatea este descrisă de o funcție continuă atunci metoda dezvoltării în serie a soluției poate fi aplicată la simularea propagării undelor sau pulsurilor elastice în medii neomogene. Ecuația pentru transformata Fourier a soluției care include două funcții $g(x)$ și $f(x)$, care descriu neomogenitatea mediului este:

$$\partial_x (g(x) \cdot \partial_x \tilde{u}(x, \omega)) = -\omega^2 \cdot f(x) \cdot \tilde{u}(x, \omega) \quad (1.19)$$

ținând cont că funcțiile sunt continue,

$$f(x) = f_0(1 + \eta_1 \cdot p(x)) \quad (1.20)$$

$$g(x) = g_0(1 + \eta_2 \cdot q(x)) \quad (1.21)$$

$$p(x) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n (x - x_0)^n, \quad a_n = \frac{1}{n!} \partial_x^n (p(x)) \Big|_{x=x_0} \quad (1.22)$$

$$q(x) = \sum_{n=0}^{\infty} b_n (x - x_0)^n, \quad b_n = \frac{1}{n!} \cdot \partial_x^n (q(x)) \Big|_{x=x_0} \quad (1.23)$$

Soluția ecuației va fi dată de seria de puteri:

$$\tilde{u}(x, \omega) = \sum_{n=0}^{\infty} c_n(\omega) (x - x_0)^n, \quad c_n = \frac{1}{n!} \cdot \partial_x^n (\tilde{u}(x, \omega)) \Big|_{x=x_0} \quad (1.24)$$

Iar relația de recurență a coeficienților va fi de data aceasta:

$$c_{n+2} = -\frac{1}{(n+2)(n+1)[1 + \eta_2 q(x_0)]} \cdot \left\{ \left[1 + \eta_1 p(x_0) \cdot \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \right] \cdot c_n + \sum_{m=1}^{n+1} \left[\eta_1 a_m \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 c_{n-m} + \eta_2 b_m (m+1)(n-m+2) c_{n-m+2} \right] \right\} \quad (1.25)$$

1.3 Cazul mediilor cu neomogenitate armonica

Pornim de la ecuația de propagare:

$$f(x) \cdot u_{tt} = \partial_x (g(x) \cdot u_x) \quad (1.26)$$

Funcțiile de neomogenitate au următoarea variație armonică:

$$f(x) = \sum_{i=0}^{\infty} (\alpha_i \cdot \cos k_i x + \beta_i \sin k_i x) \quad (1.27)$$

$$g(x) = \sum_{i=0}^{\infty} (\gamma_i \cdot \cos k_i x + \eta_i \sin k_i x) \quad (1.28)$$

Aici $k_i = \frac{2\pi}{\lambda_i}$ descrie periodicitatea neomogenității mediului, care are periodicitate

spațială egală cu λ_i . Funcțiile armonice sinus și cosinus se pot dezvolta în serie.

$$\sin x = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m x^{2m+1}}{(2m+1)!}; \quad \cos x = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m x^{2m}}{(2m)!} \quad (1.29)$$

Astfel că după înlocuire în expresiile de mai sus obținem pentru funcțiile de neomogenitate corespunzătoare:

$$f(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m)!} \cdot (A_m + xB_m) \cdot x^{2m} \quad (1.30)$$

$$g(x) = \sum_{m=0}^{\infty} \frac{(-1)^m}{(2m)!} \cdot (C_m + xD_m) \cdot x^{2m} \quad (1.31)$$

Transformata Fourier a soluției este

$$\tilde{u}(x, \omega) = \sum_{k=0}^{\infty} c_k(\omega) \cdot x^k \quad (1.32)$$

și trebuie să verifice ecuația:

$$-\omega^2 f(x)\tilde{u}(x, \omega) = \frac{\partial}{\partial x} \left(g(x) \cdot \frac{\partial \tilde{u}(x, \omega)}{\partial x} \right) \quad (1.33)$$

Calculând în continuare obținem:

$$\begin{aligned} f(x) \cdot \tilde{u}(x, \omega) &= A_0 \cdot c_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{(-1)^m}{(2m)!} [A_m \cdot c_{2n-2m} + B_m \cdot c_{2n-2m-1}] \cdot x^{2n} + \\ &+ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{(-1)^m}{(2m)!} [A_m \cdot c_{2n-2m+1} + B_m \cdot c_{2n-2m}] \cdot x^{2n+1} \end{aligned} \quad (1.34)$$

$$\begin{aligned} g(x) \cdot \tilde{u}'(x, \omega) &= C_0 \cdot c_1 + \\ &+ \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{(-1)^m}{(2m)!} \cdot [C_m \cdot c_{2n-2m+1} \cdot (2n-2m+1) + D_m \cdot c_{2n-2m} \cdot (2n-2m)] \cdot x^{2n} + \\ &+ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \frac{(-1)^m}{(2m)!} [C_m c_{2n-2m+2} (2n-2m+2) + D_m c_{2n-2m+1} (2n-2m+1)] \cdot x^{2n+1} \end{aligned} \quad (1.35)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial x} [g(x) \cdot \tilde{u}'(x, \omega)] &= \\ &\sum_{n=1}^{\infty} \sum_{m=0}^n 2n \frac{(-1)^m}{(2m)!} [C_m c_{2n-2m+1} (2n-2m+1) + D_m c_{2n-2m} (2n-2m)] \cdot x^{2n-1} + \\ &+ \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n (2n+1) \frac{(-1)^m}{(2m)!} \cdot \\ &\cdot [C_m c_{2n-2m+2} (2n-2m+2) + D_m c_{2n-2m+1} (2n-2m+1)] x^{2n} \end{aligned} \quad (1.36)$$

Prin identificare se obțin coeficienții pari și impari exceptând cei dați prin condițiile inițiale:

$$c_2 = \frac{-1}{2C_0} (\omega^2 A_0 c_0 + D_0 c_1) \quad (1.37)$$

$$c_3 = \frac{-1}{6C_0} [\omega^2 B_0 c_0 + (\omega^2 A_0 - C_1) c_1 + 4D_0 c_2] \quad (1.38)$$

$$\begin{aligned} c_{2n+2} = & -\frac{1}{C_0(2n+1)(2n+2)} \left\{ \omega^2 (A_0 c_{2n} + \omega^2 B_0 c_{2n-1}) + (2n+1)^2 D_0 c_{2n+1} + \right. \\ & + \sum_{m=1}^n \frac{(-1)^m}{(2m)!} \left\{ \omega^2 (A_m c_{2n-2m} + B_m c_{2n-2m-1}) + \right. \\ & \left. \left. + (2n+1) [C_m \cdot c_{2n-2m+2} (2n-2m+2) + D_m c_{2n-2m+1} (2n-2m+1)] \right\} \right\} \end{aligned} \quad (1.39)$$

$$\begin{aligned} c_{2n+3} = & -\frac{1}{C_0(2n+3)(2n+2)} \cdot \\ & \cdot \left\{ \omega^2 (A_0 c_{2n+1} + B_0 c_{2n}) + (2n+2)^2 D_0 c_{2n+2} + \frac{(-1)^{n+1}}{(2n+1)!} C_{n+1} c_1 + \right. \\ & + \sum_{m=1}^n \frac{(-1)^m}{(2m)!} \left\{ [C_m c_{2n-2m+3} (2n-2m+3) + D_m c_{2n-2m+2} (2n-2m+2)] (2n+2) + \right. \\ & \left. \left. + \omega^2 [A_m c_{2n-2m+1} + B_m c_{2n-2m}] \right\} \right\} \end{aligned} \quad (1.40)$$

1.4 Limitele metodei

Metoda dezvoltării în serie a soluției și a funcției de neomogenitate poate fi aplicată la studiul mediilor semiinfinite cu neomogenitate descrisă de o funcție continuă.

Datorită trunchierii sumelor din dezvoltarea în serie, metoda trebuie completată cu un formalism de control și limitare a erorilor care pot să apară în procesul de simulare. Aceasta se face stabilind o anumită limită a erorii care dictează numărului de termeni care se iau în considerare la dezvoltarea în serie.

Capitolul 2

Contribuții la dezvoltarea formalismului și aplicării metodei matriciale.

Metoda matricială este mai completă întrucât se poate aplica și mediilor finite și cu neomogenitate discontinuă. Metoda este utilă mai ales la studiul propagării undelor și pulsurilor elastice în medii multistrat, care constituie punctul de plecare în studiul cristalelor sonice. Am dezvoltat această metodă pentru cazul unidimensional, rezultate privind simulări și măsurători experimentale directe au fost publicate în Computational Materials Science, Ultrasonics, IEEE Trans. UFFC [1],[2], [3]. Fenomenul de transport al unei unde monocromatice într-un mediu finit este descris în spațiul Fourier cu ajutorul matricii de transfer, matrice care leagă amplitudinile componentelor spectrale la ieșirea din mediul de interes de amplitudinile componentelor spectrale ale unde aplicate la intrare. În cazul mediilor multistrat matricea de transfer este dată de produsul matricilor individuale de transfer ale fiecărui strat din mediu. Matricea de transfer este de fapt un produs de două matrici, matricea de discontinuitate care reflectă condițiile pe frontieră și matricea de propagare care reflectă propagarea în stratul respectiv.

2.1 Matricea de discontinuitate

Dacă considerăm două medii omogene separate între ele printr-o suprafață de frontieră, care sunt străbătute de o undă plană longitudinală în direcția x , direcție perpendiculară pe suprafața de separație, componentele Fourier spectrale ale undelor în cele două medii pot fi descrise de ecuațiile:

$$\begin{aligned} u_1(x, \omega) &= A_1 e^{ik_1 x} + B_1 e^{-ik_1 x} \\ u_2(x, \omega) &= A_2 e^{ik_2 x} + B_2 e^{-ik_2 x} \end{aligned} \quad (2.1)$$

Dacă considerăm că frontiera se află în planul $x=0$, condițiile pe frontieră implică continuitatea unde și a forței în orice punct de pe frontieră, adică:

$$\begin{aligned} A_1 + B_1 &= A_2 + B_2 \\ S_1 \sqrt{E_1 \rho_1} (A_1 - B_1) &= S_1 \sqrt{E_1 \rho_1} (A_2 - B_2) \end{aligned} \quad (2.2)$$

Relațiile de mai sus pot fi obținute și pe cale matricială, astfel:

$$\begin{pmatrix} A_2 \\ B_2 \end{pmatrix} = D(Z_1, Z_2) \begin{pmatrix} A_1 \\ B_1 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

unde

$$D(Z_1, Z_2) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & 1 - \frac{Z_1}{Z_2} \\ 1 - \frac{Z_1}{Z_2} & 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \end{pmatrix} \quad (2.4)$$

reprezintă matricea de discontinuitate, $Z_{1,2} = \sqrt{E_{1,2}\rho_{1,2}}$ fiind impedanțele caracteristice elastice ale mediilor.

Matricea de discontinuitate are următoarele proprietăți:

$$\begin{aligned} D(Z, Z) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ D(Z_1, Z_2)D(Z_2, Z_3) &= D(Z_1, Z_3) \\ D(Z_1, Z_2)D(Z_2, Z_1) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \det[D(Z_1, Z_2)] &= \frac{Z_1}{Z_2} \end{aligned} \quad (2.5)$$

2.2 Matricea de propagare

Dacă considerăm un strat din mediu de grosime a , în care se propagă o undă plană, iar amplitudinile componentelor spectrale din mediul respectiv imediat la intrare (A' , B') și înainte de ieșirea din mediu (A , B), atunci acestea pot fi scrise astfel:

$$\begin{pmatrix} A' \\ B' \end{pmatrix} = P(k, a) \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} \quad (2.6)$$

Matricea care leagă aceste amplitudini (ale undelor progresive și regresive), considerând stratul de grosime a omogen, are următoarea expresie:

$$P(k, a) = \begin{pmatrix} e^{ika} & 0 \\ 0 & e^{-ika} \end{pmatrix} \quad (2.7)$$

Și se numește matricea de propagare. Matricea de propagare are următoarele proprietăți:

$$\begin{aligned} P(k, 0) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ P(k, a)P(k, b) &= P(k, a + b) \\ P(k, a)P(k, -a) &= \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \\ \det(P) &= 1 \end{aligned} \quad (2.8)$$

1.3 Matricea de transfer

Dacă avem un mediu elastic de interes de grosime l și impedanță caracteristică Z_1 , plasat între două medii elastice semiinfinite, la stânga L de impedanță Z_{in} și la dreapta R de impedanță Z_{out} , atunci dacă injectăm un semnal din mediul L, acesta va fi detectat în mediul R, iar amplitudinile spectrale ale undelor implicate sunt legate între ele prin matricea de transfer astfel:

$$\begin{pmatrix} A_{out}(\omega) \\ B_{out}(\omega) \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \cdot \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_{out}} & 1 - \frac{Z_1}{Z_{out}} \\ 1 - \frac{Z_1}{Z_{out}} & 1 + \frac{Z_1}{Z_{out}} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{ik'l} & 0 \\ 0 & e^{-ik'l} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_{in}}{Z_1} & 1 - \frac{Z_{in}}{Z_1} \\ 1 - \frac{Z_{in}}{Z_1} & 1 + \frac{Z_{in}}{Z_1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A_{in}(\omega) \\ B_{in}(\omega) \end{pmatrix} \quad (2.9)$$

Adică:

$$\begin{pmatrix} A_R \\ B_R \end{pmatrix} = T(Z_L, Z_R) \begin{pmatrix} A_L \\ B_L \end{pmatrix} \quad (2.10)$$

Pentru un mediu multistrat, format din N straturi, de diverse grosimi și impedanțe caracteristice, considerând fiecare felie de mediu omogenă, matricea de transfer este dată de un produs de matrici, astfel:

$$T(Z_L, Z_R) = \left[\prod_{j=0}^{N-1} D(Z_{N-1-j}, Z_{N-j}) P(k_{N-1-j}, a_{N-1-j}) \right] D(Z_{-1}, Z_0) \quad (2.11)$$

unde $Z_{-1} = Z_L$ iar $Z_N = Z_R$.

Formalismul matricii de transfer permite datorită operațiilor cu matrici să obținem informații asupra spectrului undelor transmise sau reconstrucția unei inițiale care a fost injectată în mediu.

1.4 Aplicarea formalismului matricial la reconstrucția undelor

Vom considera un mediu de lungime L plasat între două medii semiinfinite. În mediul respectiv este injectat un semnal din care o parte este reflectat (rejecat) iar o parte este transmis în mediul semiinfinite, în care nu vor exista reflexii, ca în figura 2.1



Figura 2.1 Mediu finit plasat între două medii semiinfinite

În spațiul Fourier, introducând amplitudinile spectrale și matricea de transfer se poate scrie următoarea relație matricială:

$$\begin{pmatrix} A(\omega) \\ B(\omega) \end{pmatrix} = T(Z_R, Z_L, \omega) \begin{pmatrix} C(\omega) \\ 0 \end{pmatrix} \quad (2.12)$$

Amplitudinile spectrale ale semnalelor implicate sunt corelate cu semnalele în timp cu ajutorul transformatorilor Fourier inverse astfel:

$$\begin{aligned}
 U_{injected}(0,t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} A(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \\
 U_{rejected}(0,t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} B(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \\
 U_{transferred}(L,t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} C(\omega) e^{-i\omega t} d\omega
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

Din măsurătorile experimentale asupra undelor incidente, reflectate (rejectate) și transmise (transferate) se pot estima cu ajutorul calculatorului coeficienții spectrali

$$\begin{aligned}
 a(\omega) &= \frac{1}{t(\omega)} = \frac{FFT[U(t)_{injected}]}{FFT[U(t)_{transferred}]} \\
 b(\omega) &= \frac{r(\omega)}{t(\omega)} = \frac{FFT[U(t)_{rejected}]}{FFT[U(t)_{transferred}]}
 \end{aligned}
 \tag{2.14}$$

Astfel căținând cont de relația matricială de mai sus, se pot estima amplitudinile spectrale ale semnalelor transferate respectiv reflectate de mediul de interes, astfel:

$$\begin{aligned}
 C(\omega) &= \frac{1}{a(\omega)} A(\omega) \\
 B(\omega) &= \frac{b(\omega)}{a(\omega)} A(\omega)
 \end{aligned}
 \tag{2.15}$$

Mărimile $t(\omega)$ și $r(\omega)$ adică factorii spectrali de transmisie și de reflexie sunt atunci legate de coeficienții spectrali prin relațiile:

$$\begin{aligned}
 t(\omega) &= \frac{1}{a(\omega)} \\
 r(\omega) &= \frac{b(\omega)}{a(\omega)}
 \end{aligned}
 \tag{2.15'}$$

Astfel că transformările Fourier inverse pot fi scrise după cum urmează:

$$U_{rejected}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} r(\omega) \left[\int_{-\infty}^{+\infty} U_{injected}(t) e^{i\omega\tau} d\tau \right] e^{-i\omega t} d\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} U_{injected}(t) \tilde{r}(t-\tau) d\tau \quad (2.16)$$

$$U_{transferred}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} t(\omega) \left[\int_{-\infty}^{+\infty} U_{injected}(t) e^{i\omega\tau} d\tau \right] e^{-i\omega t} d\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} U_{injected}(t) \tilde{t}(t-\tau) d\tau$$

$$\tilde{r}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} r(\omega) e^{-i\omega t} d\omega \quad (2.17)$$

$$\tilde{t}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} t(\omega) e^{-i\omega t} d\omega$$

Și de asemenea inversul acestor mărimi:

$$\tilde{r}^{-1}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{r(\omega)} e^{-i\omega t} d\omega \quad (2.18)$$

$$\tilde{t}^{-1}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{t(\omega)} e^{-i\omega t} d\omega$$

Cu ajutorul cărora se pot scrie relațiile de mai jos:

$$U_{rejected}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{r(\omega)} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} U_{transferred}(t) e^{i\omega\tau} d\tau \right] e^{-i\omega t} d\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} U_{injected}(t) \tilde{r}^{-1}(t-\tau) d\tau \quad (2.19)$$

$$U_{transferred}(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} t(\omega) \left[\int_{-\infty}^{+\infty} U_{transferred}(t) e^{i\omega\tau} d\tau \right] e^{-i\omega t} d\omega = \int_{-\infty}^{+\infty} U_{injected}(t) \tilde{t}^{-1}(t-\tau) d\tau$$

2.4.1 Estimarea factorilor de transmisie și reflexie

Se pot defini factorii spectrali de transmisie și reflexie astfel:

$$T(\omega) = \frac{\frac{dW_{transferea}}{dt}}{\frac{dW_{injected}}{dt}} = \frac{Z_{out}|C(\omega)|^2}{Z_{in}|A(\omega)|^2} = \frac{Z_{out}}{Z_{in}}|t(\omega)|^2 \quad (2.20)$$

$$R(\omega) = \frac{\frac{dW_{rejected}}{dt}}{\frac{dW_{injected}}{dt}} = \frac{|B(\omega)|^2}{|A(\omega)|^2} = |r(\omega)|^2$$

Se obține în continuare ținând cont de conservarea energiei:

$$T(\omega) = 1 - \frac{|b(\omega)|^2}{|a(\omega)|^2} \quad (2.21)$$

$$R(\omega) = \frac{|b(\omega)|^2}{|a(\omega)|^2}$$

2.5 Implementare numerică

Pentru simularea propagării undelor și pulsurilor elastice este preferabilă folosirea unor mărimi relative, mai ales atunci când variabilele dinamice și de material au ordine de mărime foarte diferite. Mărimile relative se exprimă în raport cu cele ale unui mediu omogen, în jurul cărora se definesc variații corespunzătoare. Pentru cazul barelor elastice și undelor longitudinale, valorile corespunzând mediului omogen sunt date de:

$$Z_0 = S_0 \sqrt{E_0 \rho_0}$$

$$v_0 = \sqrt{\frac{E_0}{\rho_0}} \quad (2.22)$$

iar ca unități de timp respectiv frecvență se folosesc următoarele mărimi:

$$t_0 = \frac{x_0}{v_0}$$

$$f_0 = \frac{v_0}{x_0} \quad (2.23)$$

Pentru un mediu care prezintă o periodicitate descrisă de:

$$\begin{aligned} Z(x) &= Z(x + n\Lambda) \\ v(x) &= v(x + n\Lambda) \end{aligned} \quad n \in N \quad (2.24)$$

cuperiodicitatea spațială $x_0 = \Lambda$ impedanța exprimată în unități relative va fi:

$$\begin{aligned} Z(x) &= \frac{Z(x + n\Lambda)}{Z_0} \\ v(x) &= \frac{v(x + n\Lambda)}{v_0} \end{aligned} \quad n \in N \quad (2.25)$$

Aplicație. Simularea propagării pulsurilor prin medii multistrat

Consider un mediu periodic multistrat de lungime $L=3.5$ plasat între două medii semiinfinite cu $Z=1, v=1$, având topografia descrisă de:

$$\begin{aligned} Z(x) &= \begin{cases} 2 & 0 \leq [x] < 0.5 \\ 1 & 0.5 \leq [x] < 1 \end{cases} \\ \Lambda &= 0.5 \\ v(x) &= 1 \end{aligned} \quad (2.26)$$

Consider un puls foarte larg in frecvență cu o distribuție uniformă a componentelor monocromatice. Făcând calculul puterilor prin ridicarea la pătrat a amplitudinilor componentelor spectrale se obține prin simulare că spectrul puterii transmise prezintă benzi permise și interzise pentru unda elastică, reprezentate în figura de mai jos.

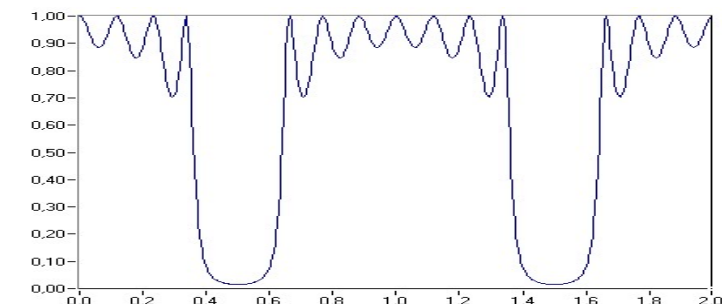


Figura 2.1 Spectrul puterii transmise printr-un mediu periodic

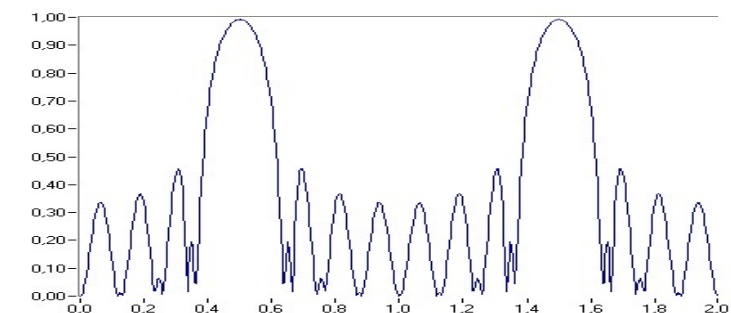


Figura 2.2 Spectrul puterii reflectate $r(\nu)$

2.6 Cazul mediilor armonice

Consider un mediu al carui impedanță acustică variază cosinusoidal cu distanța, după o lege de forma:

$$Z = 1 + \varepsilon \cos x$$

$$\nu = 1$$

Un astfel de mediu l-am obținut dintr-o bară cilindrică a cărei secțiune transversală variază cosinusoidal cu distanța. Cele două medii semiinfinite conectate au fost considerate: $Z_{in}=1.5$ și $Z_{out}=0.5$ iar pentru amplitudinea variației relative a secțiunii s-a luat $\varepsilon=0.5$.

Spectrul puterii transmise pentru un astfel de mediu pune în evidență o bandă interzisă largă și câteva benzi înguste cu transfer maxim al puterii acustice. Faptul că spectrul puterii transmise prezintă benzi de stopare și benzi permise în domeniul frecvenței sugerează că anumite pulsuri elastice vor fi deformate sau atenuate la trecerea prin astfel de medii, fenomen care poate avea aplicații practice (exemplu; în aeronautică)

Influența topologiei, geometriei și proprietăților elastice ale mediului asupra pulsurilor propagate în medii stratificate.

2.7 Pulsul sinc

Considerăm mediul armonic definit mai sus, în care am injectat un puls foarte îngust în timp, descris de funcția sinc, ca în figura 2.3.

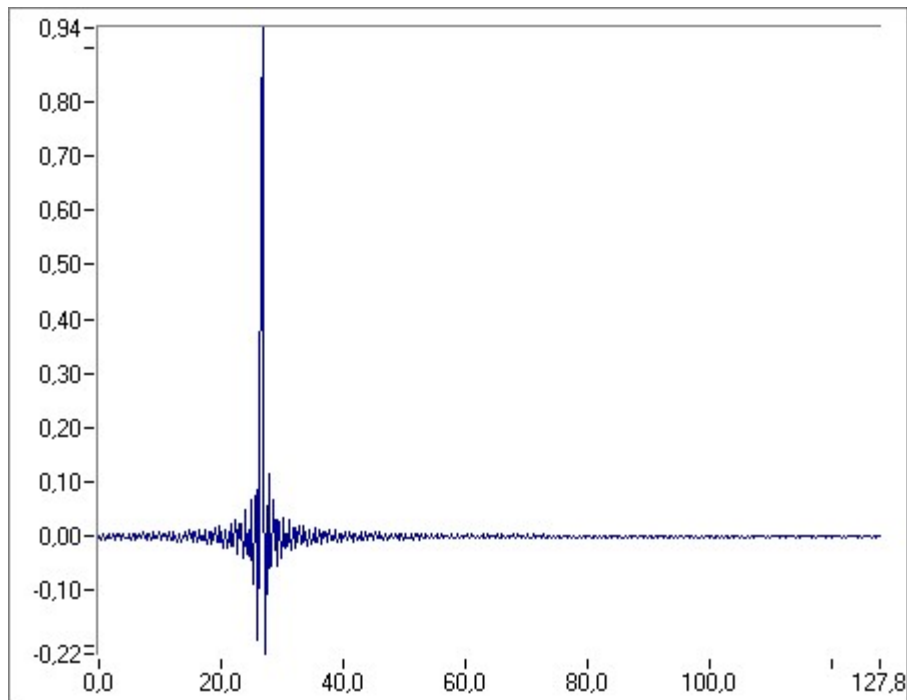


Figure 2.3 Puls injectat de tipul Sinc $U_{injected}(t,x=0)$

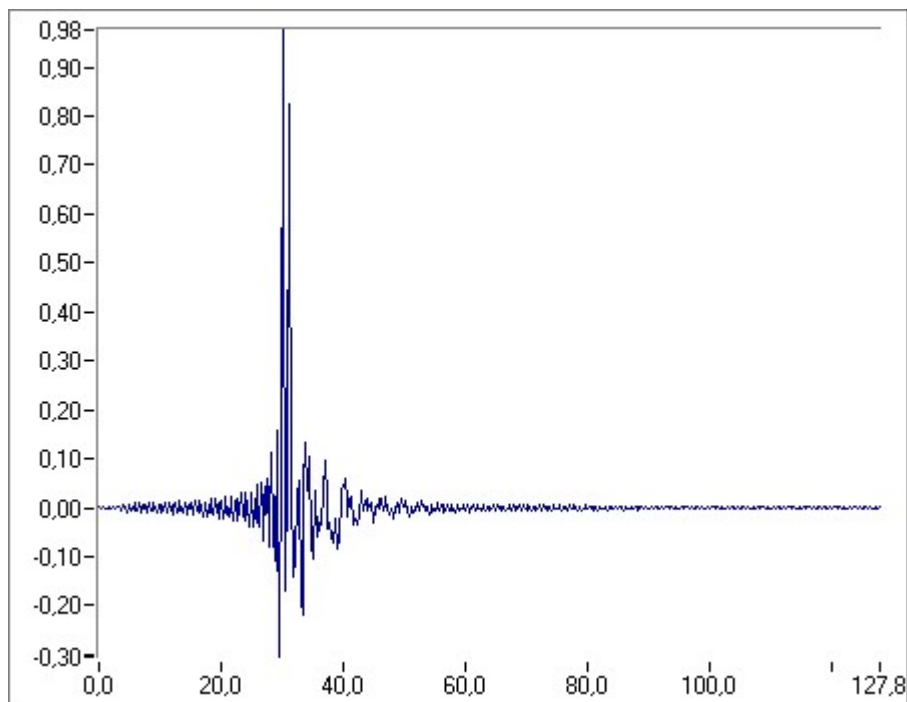


Figure 2.4 Pulsul sinc în timp la iesirea din mediul armonic $U(t,x=3.5)$

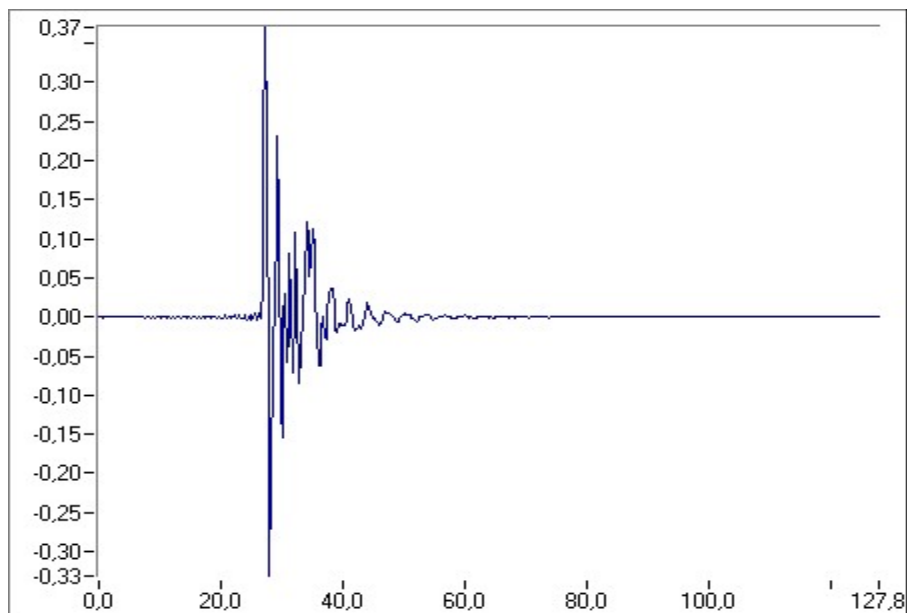


Figure 2.5 Imaginea în timp a pulsului reflectat care a fost deformat $U_{rejected}(t, x=0)$

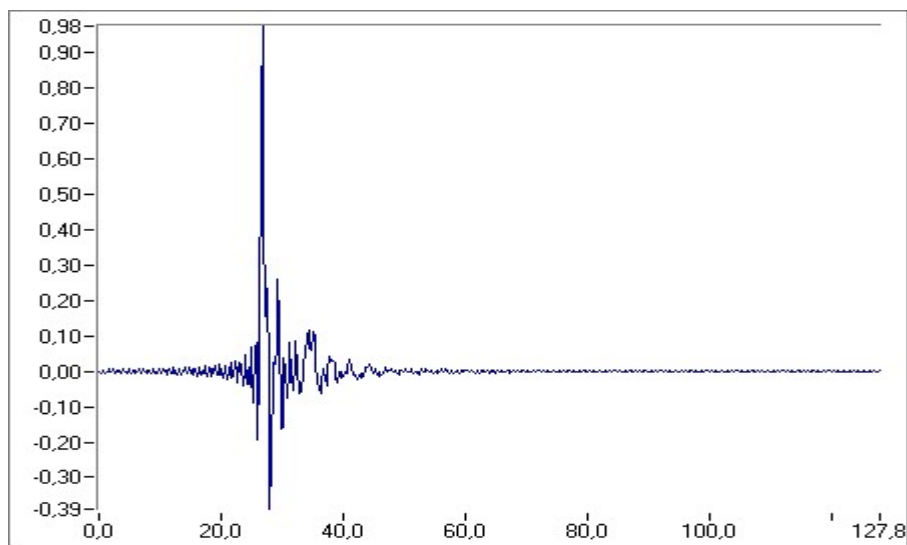


Figure 2.6 Semnalul obținut la intrare prin compunerea pulsului injectat și a celui reflectat în punctul de origine $U(t, x=3.5)$

2.8 Pulsul dreptunghiular în frecvență

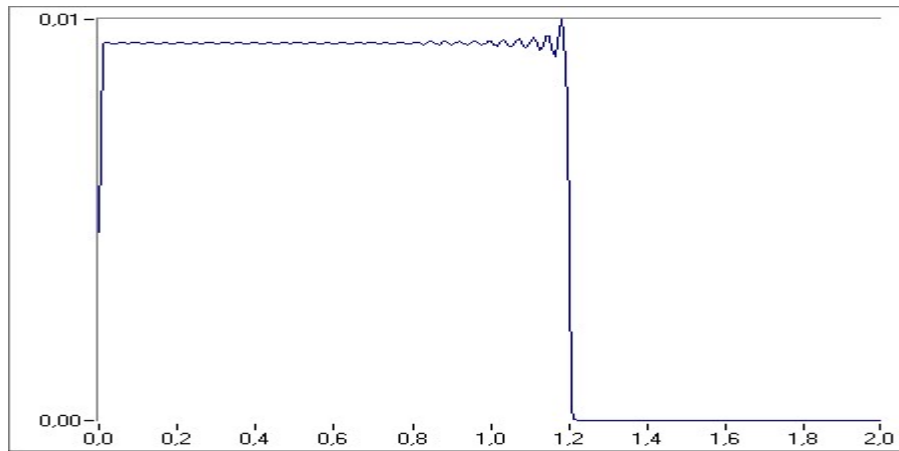


Figure 2.7 Pulsul injectat dreptunghiular în frecvență

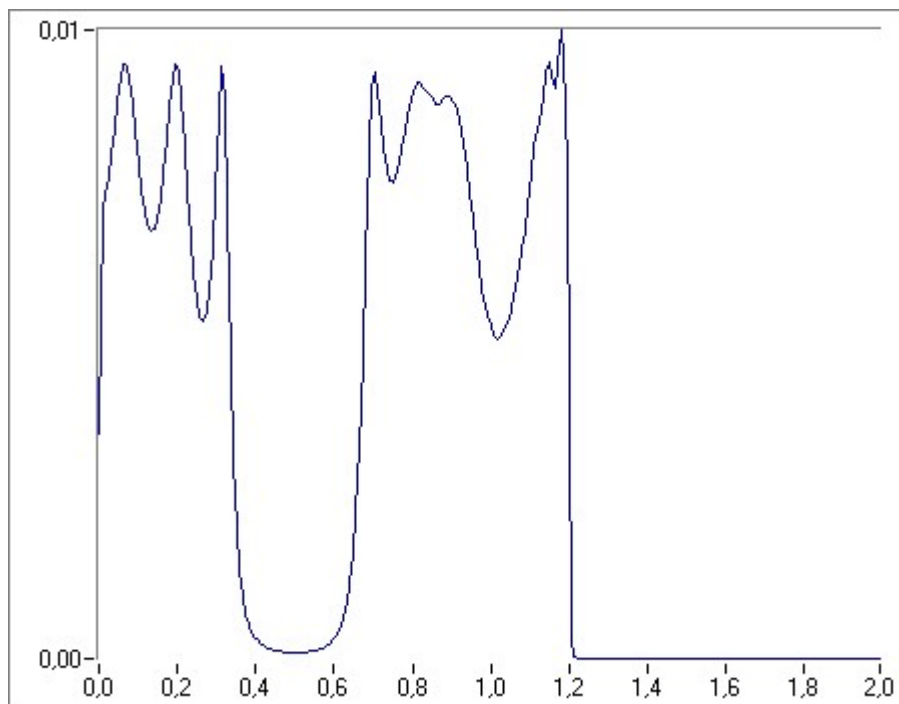


Figure 2.8 Imaginea puterii spectrale a pulsului transmis prin mediul armonic (pulsul a fost puternic deformat, anumite frecvențe au fost stopate)

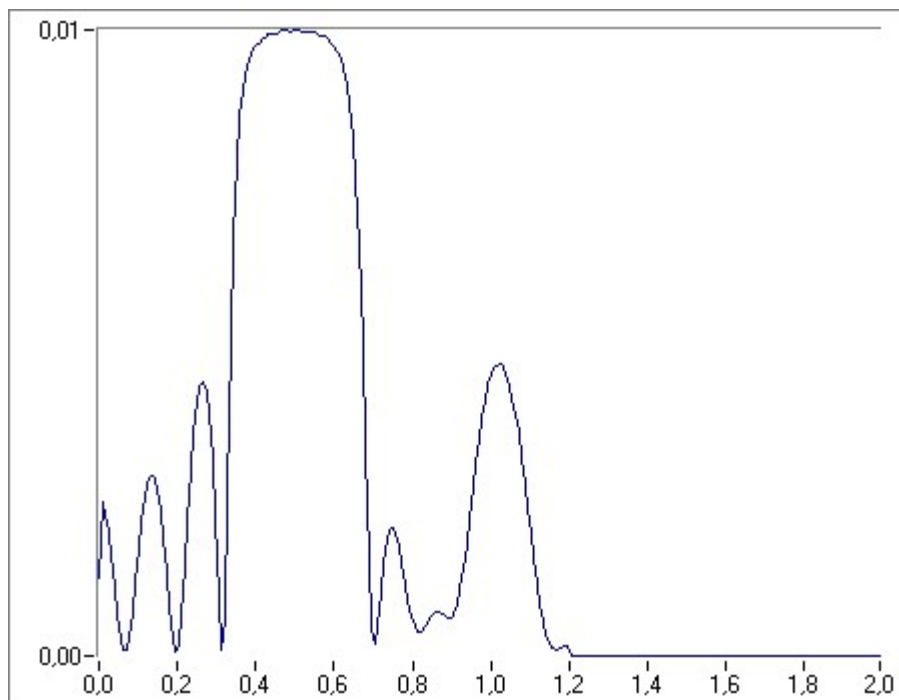


Figure 2.9 Imaginea pulsului dreptunghiular reflectat de către mediul armonic

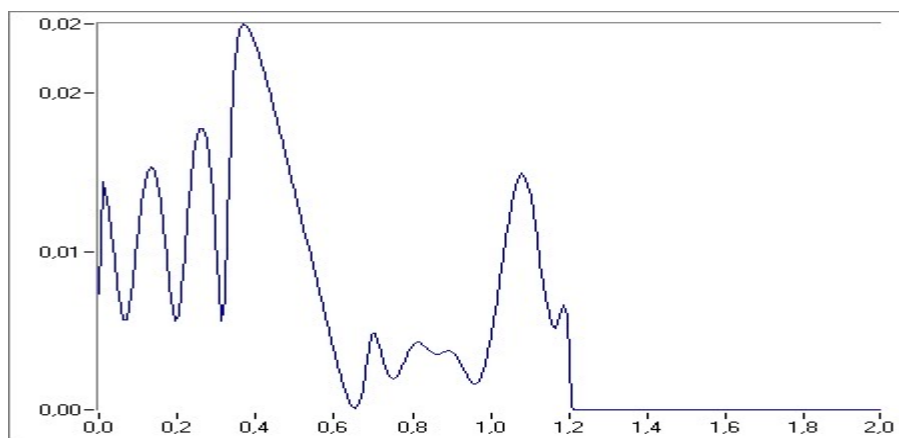


Figure 2.101 Forma semnalului la intrarea în mediul armonic

2.9 Influența mediilor în care este plasat mediul de interes

În figurile de mai jos este ilustrată influența mediului cuplant asupra semnalului unui puls uniform în frecvență care traversează un mediu finit omogen (concret o bară de aluminiu

plasată în aer); exemplul a considerat acest ansamblu întrucât raportul impedanțelor caracteristice ale celor două medii este de ordinul $\frac{Z_{aer}}{Z_{aluminiu}} \cong 10^{-4}$.

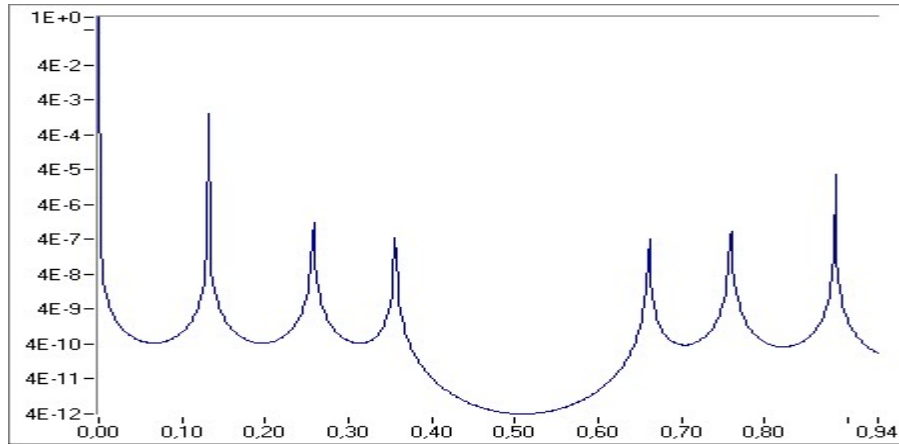


Figure 2.11 Spectrul puterii transmise de bara omogenă. Se pot vedea frecvențele proprii ale barei.

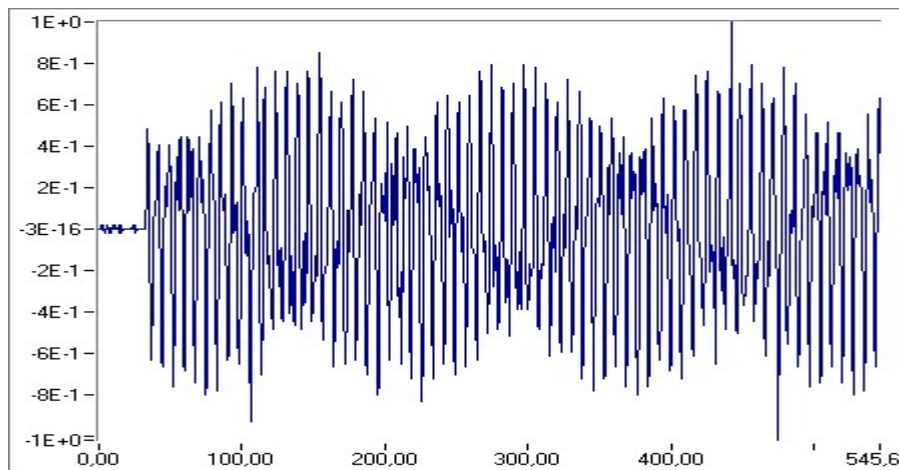


Figure 2.12 Forma semnalului în timp la ieșire, obținută experimental prin excitarea barei

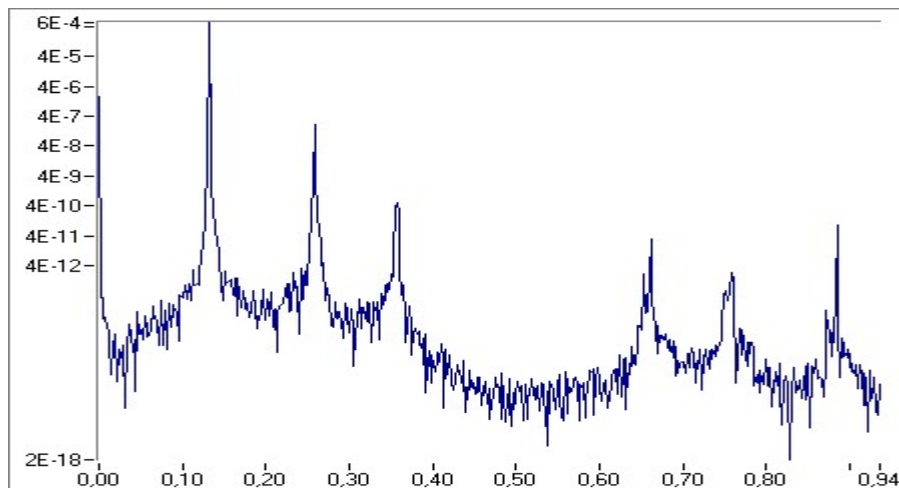


Figure 2.13 Spectrul semnalului obținut experimental pe o bară de aluminiu omogenă (logarithmic scale)

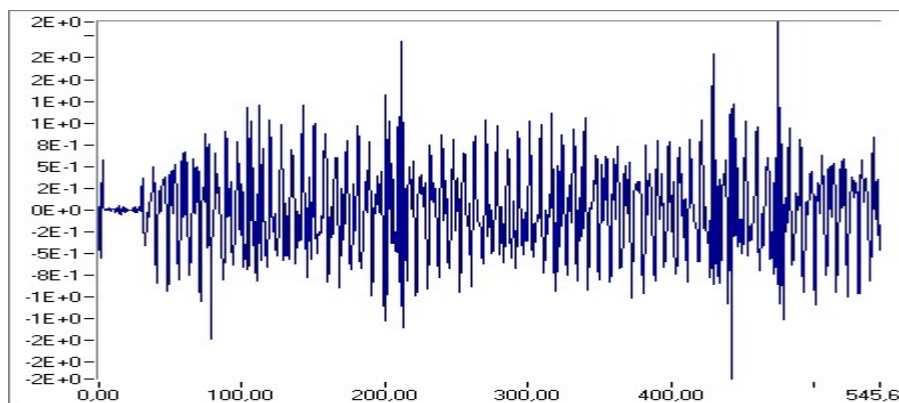


Figure 2.14 Forma semnalului reconstruit în origine prin suprapunerea semnalului incident și reflectat.

Capitolul 3

Contribuții originale la formalismul matricial-Matricea intrinsecă de transfer

3.1 Matricea intrinsecă de transfer

Termenul de matrice intrinsecă de transfer a fost introdus de către noi, lucrari referitoare la proprietățile și aplicații ale acestei matrici au fost publicate în *Mechanics of Materials*, *Journal of Sound and Vibration*, *Physics Procedia*. Comunicări importante pe această temă s-au făcut la conferința internațională *International Congress on Ultrasonics ICU 2011* de la Gdansk, Polonia.[1],[2],[3],[4]

Matricea intrinsecă de transfer se definește în cazul în care în sistemul elastic se generează unde staționare, adică în cazul în care unda este confinată în mediul de interes și rămâne în mediu formând unde staționare. Proprietățile valorilor și vectorilor proprii în cazul matricii intrinseci de transfer conduc spre o metodă numerică de determinare a constantelor elastice ale unor materiale solide, aceasta fiind deci a *standing wave method*. Ceea ce este important este faptul că această metodă permite determinarea constantelor elastice la probe care nu pot fi măsurate prin metodele convenționale de rezonanță. Metoda constă în determinarea frecvențelor proprii ale modurilor staționare dintr-un sistem elastic care conține materiale etalon cu dimensiuni și constante cunoscute și proba de cercetat.

Metoda propusă de noi este elegantă și mai rapidă și permite ca printr-o singură determinare a semnalului în timp pentru un sistem mecanic și determinarea frecvențelor modurilor proprii ale sistemului să determinăm viteza de fază a undei elastice în materialul cercetat, ținând cont de valorile pe care trebuie să le aibă valorile proprii ale matricii de transfer la rezonanța sistemului. Din punct de vedere experimental, setup-ul seamănă foarte mult cu cel folosit de metoda Hopkinson [5], dar abordarea propusă de noi este una complet diferită, și anume o abordare bazată pe o analiză modală și pe proprietatea valorilor proprii ale matricii de transfer în condiții de rezonanță ale sistemului considerat.

3.2 Cazul simplu al unei bare omogene

Dacă considerăm o bară elastică liberă la capete caracterizată prin impedanța caracteristică Z_1 , plasată între două medii semiinfinite cu impedanțele Z_{in} și Z_{out} în care este injectată o undă elastică longitudinală cu amplitudinile componentelor Fourier ca în Figura 3.1, matricea de transfer a undei se obține ca un produs dintre două tipuri de matrici, matricea de discontinuitate (dictată de tipul de interfață) și matricea de propagare.

$$\begin{array}{ccc}
 A_{in}(\omega, 0) & \begin{array}{cc} A'(\omega, 0) & A''(\omega, l) \\ B'(\omega, 0) & B''(\omega, l) \end{array} & A_{out}(\omega, l) \\
 B_{in}(\omega, 0) & & B_{out}(\omega, l)
 \end{array}$$

Figura 3.1 Amplitudinile componentelor Fourier ale undei elastice implicate

Discontinuitățile sunt la capete, astfel că din condițiile de trecere [1] obținem :

$$\begin{pmatrix} A_{out}(\omega, l) \\ B_{out}(\omega, l) \end{pmatrix} = D(Z_1, Z_{out}) \begin{pmatrix} A''(\omega, l) \\ B''(\omega, l) \end{pmatrix} \quad (3.1)$$

$$\begin{pmatrix} A'(\omega, 0) \\ B'(\omega, 0) \end{pmatrix} = D(Z_{in}, Z_1) \begin{pmatrix} A_{in}(\omega, 0) \\ B_{in}(\omega, 0) \end{pmatrix}$$

unde $D(Z_1, Z_{out})$ și $D(Z_{in}, Z_1)$ sunt matricile de discontinuitate care au expresiile :

$$D(Z_1, Z_{out}) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_{out}} & 1 - \frac{Z_1}{Z_{out}} \\ 1 - \frac{Z_1}{Z_{out}} & 1 + \frac{Z_1}{Z_{out}} \end{pmatrix} \quad (3.2)$$

$$D(Z_{in}, Z_1) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_{in}}{Z_1} & 1 - \frac{Z_{in}}{Z_1} \\ 1 - \frac{Z_{in}}{Z_1} & 1 + \frac{Z_{in}}{Z_1} \end{pmatrix} \quad (3.3)$$

In interiorul probei avem o simplă propagare astfel că :

$$\begin{pmatrix} A''(\omega, l) \\ B''(\omega, l) \end{pmatrix} = P(k, l) \begin{pmatrix} A'(\omega, 0) \\ B'(\omega, 0) \end{pmatrix} \quad (3.4)$$

cu $P(k, l)$ matricea de propagare având expresia :

$$P(k, l) = \begin{pmatrix} e^{ikl} & 0 \\ 0 & e^{-ikl} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Intregul fenomen de transfer al undei poate fi exprimat matricial astfel :

$$\begin{pmatrix} A_{out}(\omega, l) \\ B_{out}(\omega, l) \end{pmatrix} = D(Z_1, Z_{out}) \cdot P(k, l) \cdot D(Z_{in}, Z_1) \begin{pmatrix} A_{in}(\omega, 0) \\ B_{in}(\omega, 0) \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

Dacă in bara respectivă este excitată o undă staționară, componentele spectrale implicate in unda staționarăși relația dintre acestea vor fi :

$$\begin{pmatrix} A''(\omega, l) \\ B''(\omega, l) \end{pmatrix} = P(k, l) \begin{pmatrix} A'(\omega, 0) \\ B'(\omega, 0) \end{pmatrix} \quad (3.7)$$

astfel că matricea de transfer in acest caz este doar matricea de propagare $P(k, l)$.

Valorile proprii ale matricei de transfer $P(k, l)$ sunt :

$$\lambda = \cos kl + i \cdot \sin kl \quad (3.8)$$

care conduc in final spre valorile $\lambda = \mp 1$, deoarece se cunoaște din experiment că modurile proprii de oscilație ale unei bare libere la capete (ilustrate o parte in Figura 3.2) se realizează atunci când

$$\sin kl = 0, \Rightarrow \cos kl = \pm 1 \Leftrightarrow kl = n\pi, \quad l = n \frac{\lambda_w}{2} \quad (3.9)$$

cu λ_w lungimea de undă în bară.

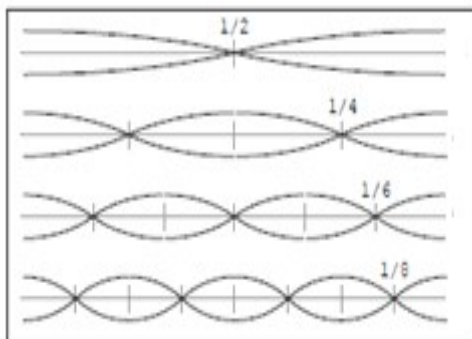


Figura 3.2 Modurile proprii de vibrație ale unei bare elastice cu capetele libere

În absența atenuării, $\lambda = \mp 1$, conduce deci la o relație vectorială între componentele Fourier de forma :

$$\begin{pmatrix} A''(\omega, l) \\ B''(\omega, l) \end{pmatrix} = \mp \begin{pmatrix} A'(\omega, 0) \\ B'(\omega, 0) \end{pmatrix} \quad (3.10)$$

Se poate observa că în cazul unor unde staționare și în absența atenuării valorile proprii ale matricii de transfer sunt reale, egale și opuse ca semn.

3.2 Sisteme binare

Un sistem binar este format din două medii cu impedanțe specifice diferite dar bine sudate împreună, din care unul poate fi materialul etalon iar celălalt materialul de cercetat, ca în Figura 3.3:



Figura 3.3 Sistem elastic binar

La rezonanță (undă staționară în sistem) matricea de transfer pentru sistemul binar are expresia :

$$T(\omega) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \left(\frac{Z_1}{Z_2} + 1\right) \cdot e^{i(k_1 l_1 + k_2 l_2)} & \left(\frac{Z_1}{Z_2} - 1\right) e^{-i(k_1 l_1 - k_2 l_2)} \\ \left(\frac{Z_1}{Z_2} - 1\right) \cdot e^{i(k_1 l_1 - k_2 l_2)} & \left(\frac{Z_1}{Z_2} + 1\right) e^{-i(k_1 l_1 + k_2 l_2)} \end{pmatrix} \quad (3.11)$$

Valorile proprii ale matricii intrinseci binare (3.11) se pot calcula și au expresia :

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \left(\frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2} + 1 \right) \cdot \cos \left(\omega \cdot \frac{l_1 c_2 + l_2 c_1}{c_1 c_2} \right) \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2} + 1 \right)^2 \cdot \cos^2 \left(\omega \cdot \frac{l_1 c_2 + l_2 c_1}{c_1 c_2} \right) - 4 \frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2}} \quad (3.12)$$

iar modurile proprii sunt așteptate să se realizeze atunci când valorile proprii devin reale, egale și opuse ca semn, adică atunci când :

$$\left(\frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2} + 1 \right)^2 \cdot \cos^2 \left(\omega \cdot \frac{l_1 c_2 + l_2 c_1}{c_1 c_2} \right) - 4 \frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2} = 0 \quad (3.13)$$

condiție care în final conduce la valorile $\lambda_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2}}$

Din relația (3.13) se vede că dacă putem determina frecvența modurilor proprii, dacă măsurăm dimensiunile barelor, densitățile acestora și dacă cunoaștem pentru etalon viteza de fază putem calcula viteza de fază în materialul de cercetat.

Se poate imagina un experiment cu trei bare aduse în contact intim, care să formeze un sistem ternar, pentru care matricea de transfer la rezonanță este :

$$T(\omega) = \frac{1}{4} \cdot \begin{pmatrix} e^{ik_3l_3} & 0 \\ 0 & e^{-ik_3l_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_2}{Z_3} & 1 - \frac{Z_2}{Z_3} \\ 1 - \frac{Z_2}{Z_3} & 1 + \frac{Z_2}{Z_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{ik_2l_2} & 0 \\ 0 & e^{-ik_2l_2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & 1 - \frac{Z_1}{Z_2} \\ 1 - \frac{Z_1}{Z_2} & 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{ik_1l_1} & 0 \\ 0 & e^{-ik_1l_1} \end{pmatrix} \quad (3.14)$$

Din rațiuni practice, considerăm un sistem format din două bare din materiale identice, ($Z_1 = Z_3$) care au incastrată între ele proba de cercetat. Valorile proprii calculate în acest plasament pentru matricea sistemului ternar sunt :

$$\lambda_{1,2} = \left\{ \left(\frac{Z_1 + Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right)^2 \cdot \cos(k_1 l_1 + k_2 l_2 + k_1 l_3) - \left(\frac{Z_1 - Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right)^2 \cdot \cos(k_1 l_1 - k_2 l_2 + k_1 l_3) \right\} \pm \sqrt{\left\{ \left(\frac{Z_1 + Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right)^2 \cdot \cos(k_1 l_1 + k_2 l_2 + k_1 l_3) - \left(\frac{Z_1 - Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right)^2 \cdot \cos(k_1 l_1 - k_2 l_2 + k_1 l_3) \right\}^2 - 1}$$

Condiția ca valorile proprii să fie reale egale și opuse ca semn este dată de :

$$\left\{ \left(\frac{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}{2\sqrt{\rho_1 \rho_2 c_1 c_2}} \right)^2 \cdot \cos(k_1 l_1 + k_2 l_2 + k_1 l_3) - \left(\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{2\sqrt{\rho_1 \rho_2 c_1 c_2}} \right)^2 \cdot \cos(k_1 l_1 - k_2 l_2 + k_1 l_3) \right\} - 1 = 0 \quad (3.15)$$

și deci și un astfel de setup permite determinarea vitezei de fază c_2 din expresia (3.15), dacă se cunosc $\rho_1, \rho_2, c_1, l_1, l_2, l_3$ și se determină frecvențele modurilor proprii ale sistemului. Frecvența modurilor proprii se poate determina printr-o analiză Fourier a semnalului undei staționare produse în sistemul mecanoelastic. În Figura 3.4 ilustrăm aceasta pentru un sistem binar format din două bare lipite una de alamăși cealaltă de aluminiu.

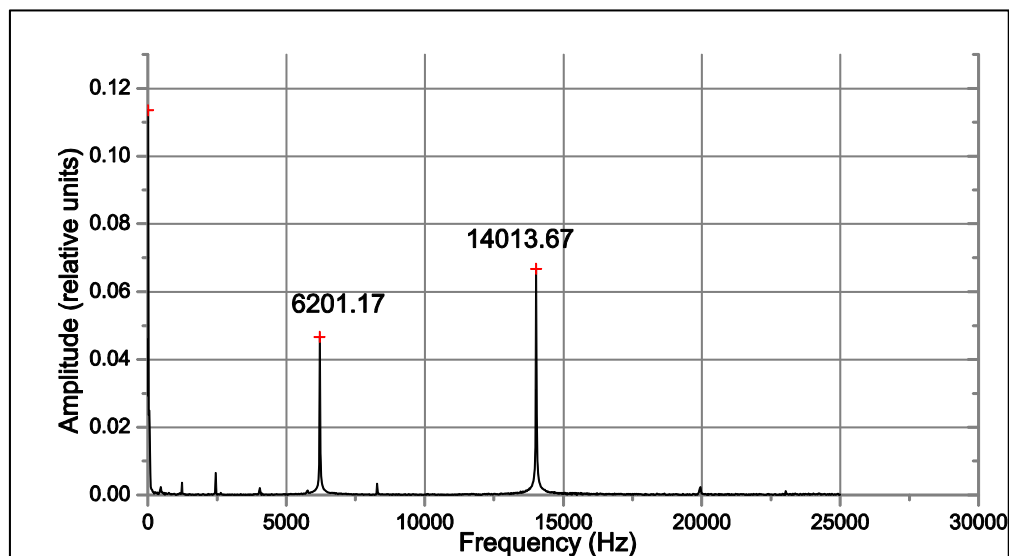


Figura 3.4 Frecvența modurilor proprii pentru sistemul binar alama-aluminiu

Avantajele folosirii acestei metode pentru determinarea vitezei undelor longitudinale in probe solide ar fi:

- a. probele au dimensiunile unor mici cilindri , nefiind necesare probe de dimensiuni mari care sa dea rezonanțe la frecvente convenabile
- b. metoda permite studiul dispersiei pentru materialul dat intrucat setup-ul experimental poate fi dimensionat astfel incat sa determinam viteza de faza intr-un domeniu larg de frecvențe.
- c. metoda permite generalizări inclusiv prin studiul influenței atenuării, prin introducerea unui număr de undă complex, in acest caz valorile proprii nu mai sunt reale, ele vor fi complexe
- d. metoda poate aduce informatii importante daca se aplica unor sisteme binare periodice, cu extrapolări in domeniul proprietatilor acusto-optice ale solidelor
- e. metoda este indicată mai ales pentru materiale speciale cum ar fi ceramici care sunt folosite in conditii extreme și care necesită proprietăți mecano-elastice deosebite

3.2 Vectorii proprii

Pentru cazul 1D forma generală a matricii de transfer este dată de:

$$T = \begin{pmatrix} a & b \\ b^* & a^* \end{pmatrix} \quad (3.16)$$

cu a^* și b^* complex conjugatele lui a și b , care pentru sistemul binar au valorile:

$$\begin{aligned} a &= \frac{1}{2} \left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) \exp \left(i\omega \left(\frac{l_1}{c_1} + \frac{l_2}{c_2} \right) \right), \\ b &= \frac{1}{2} \left(1 - \frac{Z_1}{Z_2} \right) \exp \left(-i\omega \left(\frac{l_1}{c_1} - \frac{l_2}{c_2} \right) \right). \end{aligned} \quad (3.17)$$

Valorile proprii ale matricii intrinseci de transfer sunt:

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \left(\left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right) \cos \left(\omega \left(\frac{l_1}{c_1} + \frac{l_2}{c_2} \right) \right) \pm \sqrt{\left(1 + \frac{Z_1}{Z_2} \right)^2 \cos^2 \left(\omega \left(\frac{l_1}{c_1} + \frac{l_2}{c_2} \right) \right) - 4 \frac{Z_1}{Z_2}} \right). \quad (3.18)$$

Vectorul propriu corespunzător al matricii intrinseci este:

$$U = (u \quad v)^T \quad (3.19)$$

și are componentele:

$$u_{1,2} = vb / (\lambda_{1,2} - a) \quad (3.20)$$

pentru orice v . La rezonanță valoarea proprie a sistemului binar este dată de:

$$\lambda_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}} \quad (3.21)$$

Iar vectorul propriu va fi în acest caz:

$$u_{1,2} = \pm v \exp \left(-i\omega \left(\frac{l_1}{c_1} - \frac{l_2}{c_2} \right) + \frac{\pi}{2} \right) \quad (3.22)$$

Studiind comportarea cu frecvența a vectorului propriu, obținem următoarea reprezentare a părților reală și imaginară a acestuia:

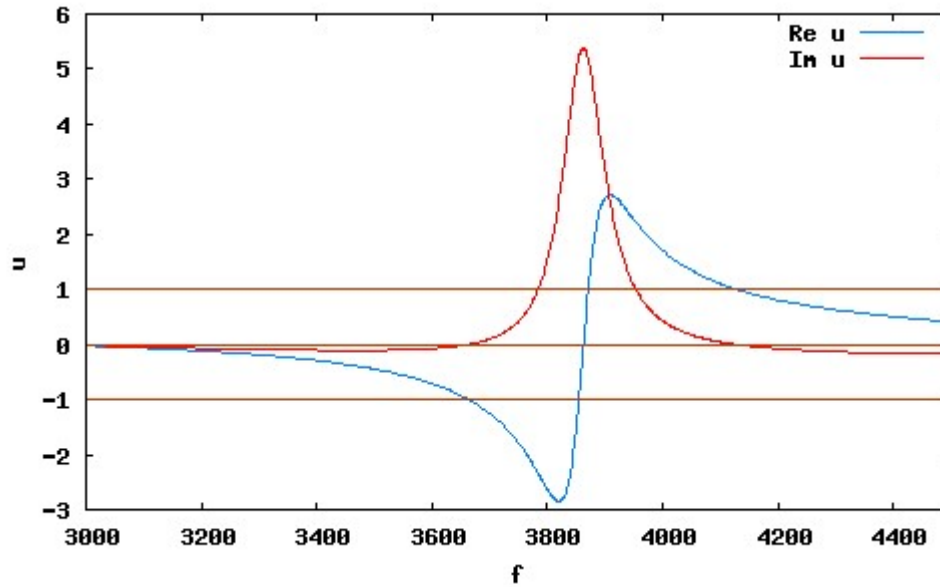


Figure 3.5 Comportarea cu frecvența a vectorului propriu u pentru $v=1$, pentru un sistem binar alama-otel cu $l_1=129\text{mm}$, $l_2=430\text{ mm}$.

Se vede că unda staționară apare pentru $\text{Im}(u)=0$, deci și vectorii proprii sunt reali pentru cazul modurilor proprii.

Capitolul 4.

Contribuții și extinderi ale aplicării matricii intrinseci de transfer.

Acest studiu a fost trimis spre publicare la revista Case Studies in Mechanical Systems and Signal Processing, Elsevier. El conține o extindere a formalismului matricii intrinseci de transfer astfel încât să includă și atenuarea și de asemenea este făcut un studiu computațional și experimental al sensibilității metodei.

4.1 Introducerea atenuării

Dacă considerăm un mediu omogen atenuativ de lungime l , cu impedanța caracteristică $Z = \rho \cdot c$ plasat între două medii semiinfinite, cu impedanțele caracteristice Z_{in} și Z_{out} , pentru a lua în considerare atenuarea trebuie să considerăm constanta de propagare ca fiind un număr complex de forma:

$$k = \frac{\omega}{c} + i\beta \quad (4.1)$$

cu c viteza de fază a undei și β coeficientul de atenuare al amplitudinii undei.

Pentru acest sistem simplu fenomenul de transfer este dat de expresia:

$$\begin{pmatrix} A_{out}(\omega, l) \\ B_{out}(\omega, l) \end{pmatrix} = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z}{Z_{out}} & 1 - \frac{Z}{Z_{out}} \\ 1 - \frac{Z}{Z_{out}} & 1 + \frac{Z}{Z_{out}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{-\beta l} e^{i\frac{\omega}{c}l} & 0 \\ 0 & e^{\beta l} e^{-i\frac{\omega}{c}l} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_{in}}{Z} & 1 - \frac{Z_{in}}{Z} \\ 1 - \frac{Z_{in}}{Z} & 1 + \frac{Z_{in}}{Z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{in}(\omega, 0) \\ B_{in}(\omega, 0) \end{pmatrix} \quad (4.2)$$

Matricea intrinsecă de transfer este în acest caz:

$$TM(\beta, \omega) = \begin{pmatrix} e^{-\beta l} e^{i\frac{\omega}{c}l} & 0 \\ 0 & e^{\beta l} e^{-i\frac{\omega}{c}l} \end{pmatrix} \quad (4.3)$$

Iar valorile proprii ale acesteia sunt:

$$\lambda_{1,2} = \left[\cos\left(\frac{\omega l}{c}\right) \cdot \cosh(\beta l) - i \cdot \sin\left(\frac{\omega l}{c}\right) \cdot \sinh(\beta l) \right] \pm \sqrt{\left[\cos\left(\frac{\omega l}{c}\right) \cdot \cosh(\beta l) - i \cdot \sin\left(\frac{\omega l}{c}\right) \cdot \sinh(\beta l) \right]^2 - 1} \quad (4.4)$$

Valorile proprii ale lui TM devin reale dacă

$$\sin\left(\frac{\omega l}{c}\right) = 0, \quad (4.5)$$

adică atunci când

$$l = \frac{n\lambda_w}{2}, \quad n = 1, 2, \dots \quad (4.6)$$

unde evident λ_w este lungimea de ună a unei longitudinale staționare din mediu. În acest caz valorile proprii sunt reale dar sunt diferite, adică:

$$\lambda_{1,2} = \cosh(\beta l) \pm \sinh(\beta l) \quad (4.7)$$

Această proprietate a valorilor proprii, care devin reale în cazul în care frecvența este egală cu frecvența modurilor proprii poate fi de asemenea folosită la determinarea constantelor elastice. Singura problemă este ca să folosim sisteme elastice simple cu o distribuție cât mai simplă a modurilor proprii și care pot fi aduse simplu la rezonanță. Sistemele pe care le-am propus sunt sisteme binare (material etalon + materialul cercetat) sau sisteme ternare (material etalon 1 + materialul cercetat + material etalon 2).

4.2 Cazul unui sistem binar

Putem considera ca sistem binar un sistem format din două bare din materiale diferite conectate una după alta, practic un astfel de sistem se obține prin lipire cu un strat foarte subțire de adeziv de tipul epoxi.

Pentru cazul propagării longitudinale 1D, matricea intrinsecă de transfer a sistemului este:

$$T(\omega) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \left(\frac{Z_1}{Z_2} + 1\right) \cdot e^{i(k_1 l_1 + k_2 l_2)} & \left(\frac{Z_1}{Z_2} - 1\right) e^{-i(k_1 l_1 - k_2 l_2)} \\ \left(\frac{Z_1}{Z_2} - 1\right) \cdot e^{i(k_1 l_1 - k_2 l_2)} & \left(\frac{Z_1}{Z_2} + 1\right) e^{-i(k_1 l_1 + k_2 l_2)} \end{pmatrix} \quad (4.8)$$

Valorile proprii ale matricii intrinseci de transfer pentru sistemul binar, considerând atenuarea neglijabilă, sunt:

$$\lambda_{1,2} = \frac{1}{2} \left(\frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2} + 1 \right) \cdot \cos \left(\omega \cdot \frac{l_1 c_2 + l_2 c_1}{c_1 c_2} \right) \pm \frac{1}{2} \sqrt{\left(\frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2} + 1 \right)^2 \cdot \cos^2 \left(\omega \cdot \frac{l_1 c_2 + l_2 c_1}{c_1 c_2} \right) - 4 \frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2}} \quad (4.9)$$

Modurile proprii ale sistemului corespund unor valori reale ale valorilor proprii ale lui $T(\omega)$ adică atunci când se îndeplinește condiția:

$$\left(\frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2} + 1 \right)^2 \cdot \cos^2 \left(\omega \cdot \frac{l_1 c_2 + l_2 c_1}{c_1 c_2} \right) - 4 \frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2} = 0 \quad (4.10)$$

Valorile proprii în această situație devin egale și opuse ca semn, adică:

$$\lambda_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{c_1 \rho_1}{c_2 \rho_2}} \quad (4.11)$$

Pentru a verifica aceasta proprietate, am pornit de la ecuația caracteristică a matricii intrinseci $\det(T - \lambda \cdot I_n) = 0$ și am definit funcția ecuației polinomiale

$$f(\lambda, \omega) = \det(T(\omega) - \lambda \cdot I) \quad (4.12)$$

Aici I reprezintă matricea unitară, iar λ valoarea proprie. Această funcție calculată pentru frecvențele modurilor proprii trebuie să se anuleze la valorile proprii în cazul rezonanței stationare. Pentru un sistem binar de exemplu alamă-otel cu dimensiunile $l_1 = 129.4 \text{ mm}$, $l_2 = 20.03 \text{ mm}$ și densitățile $\rho_{brass} = \rho_1 = 8315 \text{ Kg/m}^3$, $\rho_2 = 7834 \text{ Kg/m}^3$ și cantitatea $\sqrt{Z_1 / Z_2} = 0.8$, unde Z_1 și Z_2 sunt impedanțele caracteristice ale celor 2 materiale, la frecvența modului propriu de 11211 Hz zeroul funcției polinomiale se obține exact la

aceastăvaloare. Graficul din figura 4.1 confirma comportarea valorilor proprii ale matricii intrinseci de transfer:

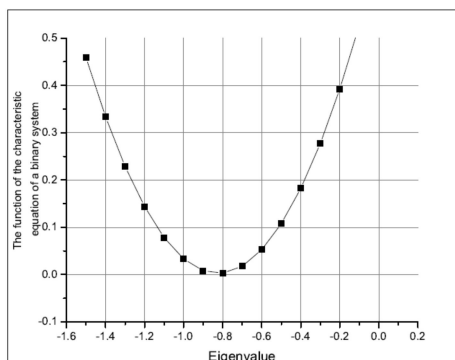


Figure 4.1 Comportarea functiei ecuatiei polinomiale a sistemului binar alama-otel la frecventa $f=11211$ Hz

Evident pentru un sistem de doua bare identice valoarea proprie va fi -1, ceea ce este ilustrat in figura 4.2, in care s-a studiat această functie pentru sistemul alama-alama, frecvența modului fundamental determinată experimental fiind de $f=6997$ Hz.

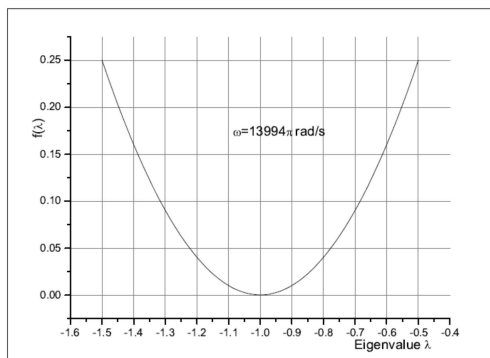


Figure 4.2 Comportarea functiei ecuatiei polinomiale pentru un sistem din doua bare identice de alama

4.3 Cazul unui sistem ternar

Considerăm un sistem ternar format din 3 medii de grosimi diferite l_1, l_2, l_3 , impedanțe mecanice Z_1, Z_2 respectiv Z_3 și numere de undă k_1, k_2, k_3 . Un astfel de sistem plasat între două

medii semiinfinite cu Z_{in} si Z_{out} va fi caracterizat de următoarea ecuație de transfer ale amplitudinilor componentelor spectrale:

$$\begin{pmatrix} A_{out}(\omega, l) \\ B_{out}(\omega, l) \end{pmatrix} = \frac{1}{16} \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z}{Z_{out}} & 1 - \frac{Z}{Z_{out}} \\ 1 - \frac{Z}{Z_{out}} & 1 + \frac{Z}{Z_{out}} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} e^{ik_3 l_3} & 0 \\ 0 & e^{-ik_3 l_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_2}{Z_3} & 1 - \frac{Z_2}{Z_3} \\ 1 - \frac{Z_2}{Z_3} & 1 + \frac{Z_2}{Z_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{ik_2 l_2} & 0 \\ 0 & e^{-ik_2 l_2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & 1 - \frac{Z_1}{Z_2} \\ 1 - \frac{Z_1}{Z_2} & 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{ik_1 l_1} & 0 \\ 0 & e^{-ik_1 l_1} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_{in}}{Z} & 1 - \frac{Z_{in}}{Z} \\ 1 - \frac{Z_{in}}{Z} & 1 + \frac{Z_{in}}{Z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} A_{in}(\omega, 0) \\ B_{in}(\omega, 0) \end{pmatrix} \quad (4.13)$$

Matricea intrinsecă de transfer, luând în considerare și atenuarea, va fi în acest caz:

$$TM(\omega) = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} e^{i\frac{\omega}{c_3} l_3 - \beta_3 l_3} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\omega}{c_3} l_3 + \beta_3 l_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_2}{Z_3} & 1 - \frac{Z_2}{Z_3} \\ 1 - \frac{Z_2}{Z_3} & 1 + \frac{Z_2}{Z_3} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{i\frac{\omega}{c_2} l_2 - \beta_2 l_2} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\omega}{c_2} l_2 + \beta_2 l_2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & 1 - \frac{Z_1}{Z_2} \\ 1 - \frac{Z_1}{Z_2} & 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} e^{i\frac{\omega}{c_1} l_1 - \beta_1 l_1} & 0 \\ 0 & e^{-i\frac{\omega}{c_1} l_1 + \beta_1 l_1} \end{pmatrix} \quad (4.14)$$

Valorile proprii ale matricii intrinseci de transfer sun in acest caz:

$$\lambda_{1,2}(\omega) = \left[\left(\frac{Z_1 + Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right)^2 \begin{pmatrix} \cos\left(\sum_{m=1}^3 \frac{\omega l_m}{c_m}\right) \cdot \cosh\left(\sum_{m=1}^3 \beta_m l_m\right) - \\ i \cdot \sin\left(\sum_{m=1}^3 \frac{\omega l_m}{c_m}\right) \cdot \sinh\left(\sum_{m=1}^3 \beta_m l_m\right) \end{pmatrix} \right] - \left[\left(\frac{Z_1 - Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right)^2 \begin{pmatrix} \cos\left(\sum_{m=1}^3 (-1)^{m+1} \cdot \frac{\omega l_m}{c_m}\right) \cdot \cosh\left(\sum_{m=1}^3 (-1)^{m+1} \cdot \beta_m l_m\right) - \\ i \cdot \sin\left(\sum_{m=1}^3 (-1)^{m+1} \cdot \frac{\omega l_m}{c_m}\right) \cdot \sinh\left(\sum_{m=1}^3 (-1)^{m+1} \cdot \beta_m l_m\right) \end{pmatrix} \right] \pm \sqrt{F(\omega)} \quad (4.15)$$

unde am notat:

$$F(\omega) = \left\{ \left[\left(\frac{Z_1 + Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right)^2 \cos \left(\sum_{m=1}^3 \frac{\omega l_m}{c_m} \right) \cdot \cosh \left(\sum_{m=1}^3 \beta_m l_m \right) - \right. \right. \\ \left. \left. i \cdot \sin \left(\sum_{m=1}^3 \frac{\omega l_m}{c_m} \right) \cdot \sinh \left(\sum_{m=1}^3 \beta_m l_m \right) \right] - \right. \\ \left. \left[\left(\frac{Z_1 - Z_2}{2\sqrt{Z_1 Z_2}} \right)^2 \cos \left(\sum_{m=1}^3 (-1)^{m+1} \cdot \frac{\omega l_m}{c_m} \right) \cdot \cosh \left(\sum_{m=1}^3 (-1)^{m+1} \cdot \beta_m l_m \right) - \right. \right. \\ \left. \left. i \cdot \sin \left(\sum_{m=1}^3 (-1)^{m+1} \cdot \frac{\omega l_m}{c_m} \right) \cdot \sinh \left(\sum_{m=1}^3 (-1)^{m+1} \cdot \beta_m l_m \right) \right] \right\}^{-1} \quad (4.16)$$

Această funcție poate fi folosită în studiul comportării valorilor proprii, pentru că acestea devin reale când partea imaginară a lui $F(\omega)$ devine zero.

În figura 4.3 este ilustrată comportarea părților reală și imaginară a funcției $F(\omega)$ pentru un sistem ternar alamă-aluminiu-alamă, obținut prin asocierea a trei bare cilindrice cu diametrul mult mai mic decât lungimea, sistem caracterizat de următorii parametri geometrici și de material:

$$l_1 = 544\text{mm}, l_2 = 18.16\text{mm}, l_3 = 251.5\text{mm}, \rho_1 = 8315\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}, \rho_2 = 2713\text{Kg} \cdot \text{m}^{-3}, \\ \beta_1 = 0.01\text{m}^{-1}, \beta_2 = 0.01\text{m}^{-1}, c_1 = 3372\text{m} \cdot \text{s}^{-1}, c_2 = 5018\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

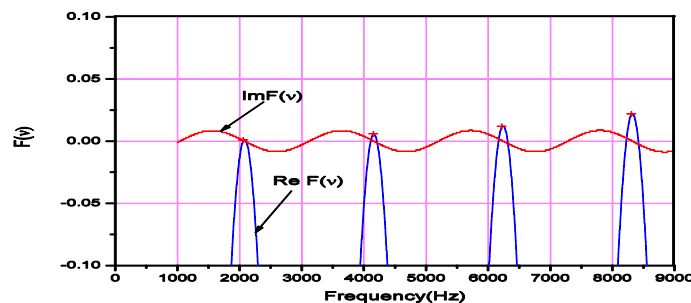


Figure 4.3 Partile reala si imaginara ale functiei $F(v)$ in functie de frecventa, pentru sistemul ternar alama-aluminiu-alama

În figura 4.4 este ilustrată distribuția frecvențelor modurilor proprii pentru sistemul din figura 4.1, obținută experimental prin analiza Fourier:

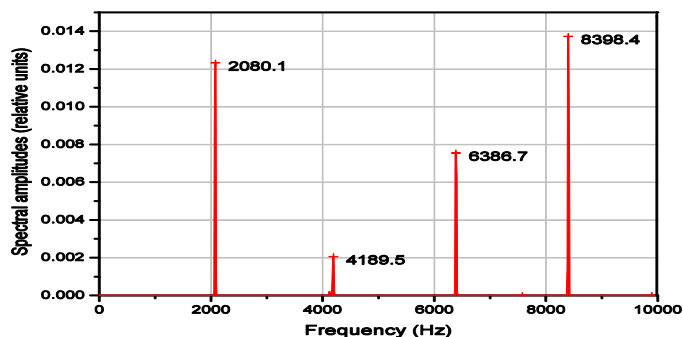


Figure 4.4 Frecvența modurilor proprii obținută prin analiza Fourier din experiment

Se poate observa o foarte bună concordanță între teorie și experiment, ceea ce confirmă corectitudinea metodei matricii intrinseci de transfer. În figura 4.5 este redată o fotografie a instalației experimentale pentru obținerea frecvenței modurilor proprii ale sistemului ternar. Sistemul conține un Vibrometru LASER Ometron 8329, un analizor Fourier STANFORD RESEARCH SYSTEM SRA760, interfața GPIB dintre analizor și computer, soft de analiză și prelucrare de semnal realizat pe platforma LV8.2.

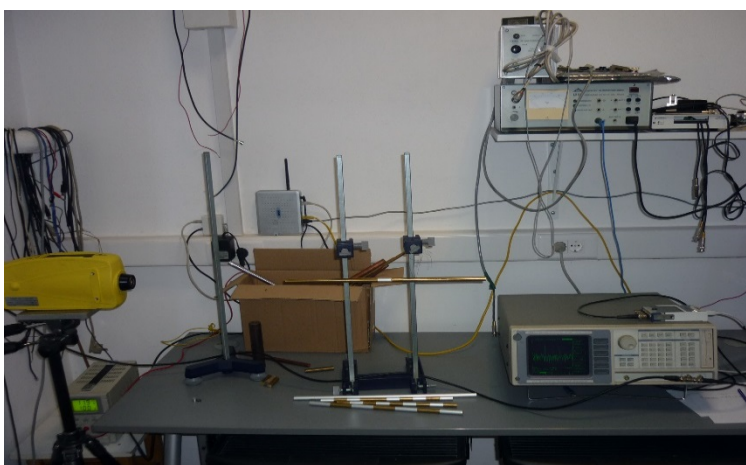


Figure 4.5 Fotografia set-up-ului experimental folosit pentru determinarea frecvenței modurilor proprii

În cele ce urmează voi prezenta câteva studii numerice și experimentale pentru a ilustra sensibilitatea metodei.

4.4 Influența setup-ului experimental

Acesta este un studiu experimental, care a constatat din studiul modificării frecvenței modului propriu fundamental al unui sistem alamă-aluminiu-alamă, folosind ca etalon alamă și ca material de cercetat aluminiul. Materialele au fost alese astfel încât să se verifice limitele de aplicabilitate ale metodei. Ținând constante caracteristicile de material și geometrice ale mediului etalon (alamă) s-a măsurat folosind analiza Fourier de semnal modificarea frecvenței în funcție de lungimea materialului de cercetat. În figura 4.6 este ilustrată această dependență teoretică și experimentală a modificării frecvenței în funcție de lungimea probei de cercetat, care arată o scădere aproximativ liniară a frecvenței modului propriu fundamental cu creșterea dimensiunii geometrice l_2 .

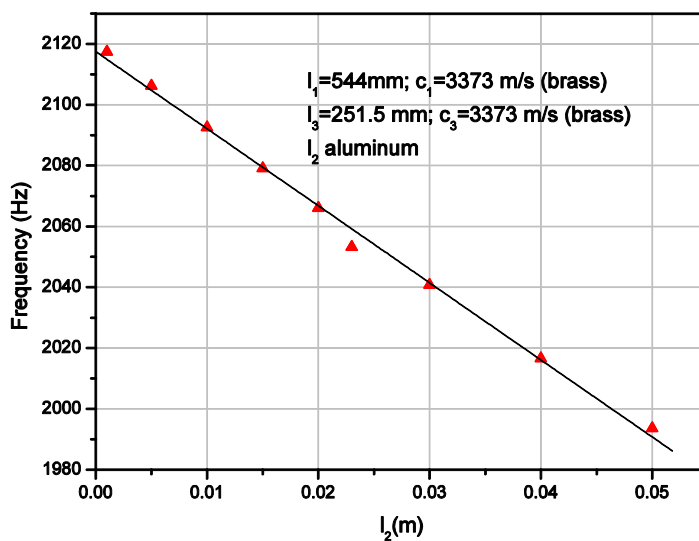


Figure 4.6 Modificarea frecvenței a primului mod propriu al sistemului în funcție de lungimea probei de cercetat l_2

În figura 4.7 este redat un studiu teoretic și experimental în care este pusă în evidență influența lungimii materialului etalon alamă, asupra modificării frecvenței, care s-a făcut ținând constantă lungimea probei de cercetat l_2 și modificând l_3 .

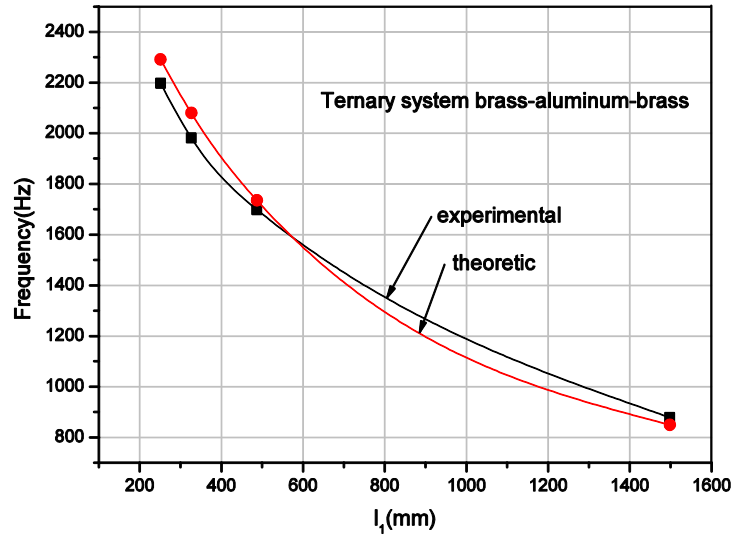


Figure 4.7 Curbele teoretică și experimentală a modificării frecvenței în funcție de lungimea l_1 a materialului etalon.

4.5 Influența dispersiei

Acesta este un studiu numeric care pune în evidență modificarea frecvenței modului propriu fundamental al unui sistem ternar, în funcție de modificarea vitezei de fază în materialul cercetat. Curba de dependență este redată în figura 4.8.

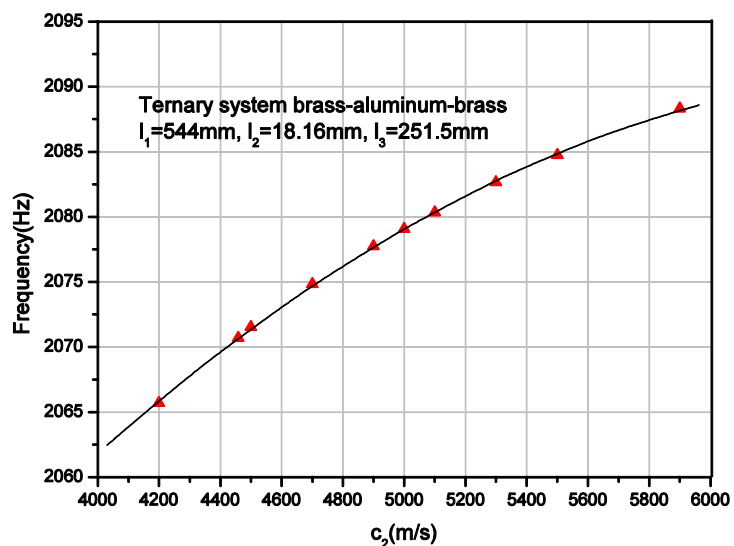


Figure 4.8 Influenta dispersiei in materialul de cercetat asupra modificarii frecventei modului propriu fundamental al sistemului ternar alama-aluminiu-alama.

Pentru sistemul ternar considerat se constată o modificare a frecventei de 2.5 Hz la o modificare a vitezei de faza cu 100 m/s.

In figura 4.9 este ilustrată influența dispersiei în materialul etalon, in cazul nostru alama.

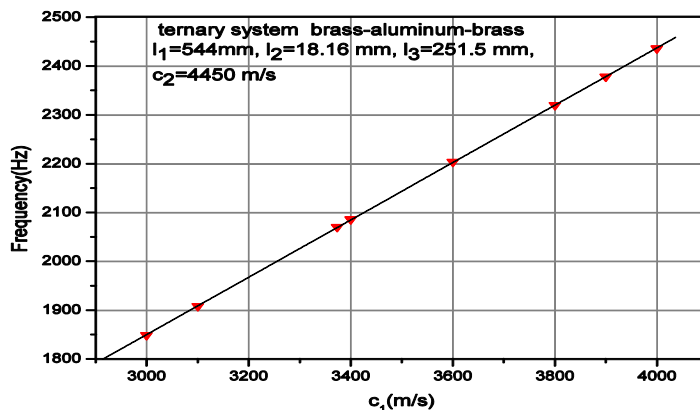


Figure 4.9 Influenta dispersiei in materialul etalon pentru sistemul ternar alama-aluminiu alama. Ca material etalon a fost considerata alama.

4.6 Influența atenuării

Influența atenuării a fost studiată prin luarea în considerare în formulele de calcul a coeficientului de atenuare al amplitudinii undei. Studiul relevă o modificare neliniară a frecvenței cu creșterea factorului de atenuare. Fenomenul este ilustrat în figura 4.10.

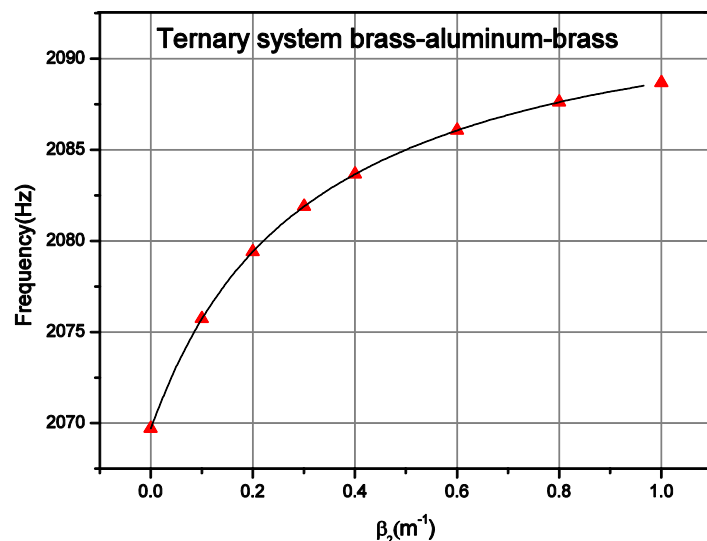


Figure 4.10 Influența atenuării în materialul cercetat pentru sistemul ternar alama-aluminiu-alama. Factorul de atenuare este considerat cel din materialul de cercetat.

În figurile de mai jos sunt redată analiza Fourier a undei staționare într-un sistem ternar alama-aluminiu-alamă și comportarea funcției ecuației polinomiale a matricii intrinseci de transfer pentru acest sistem.

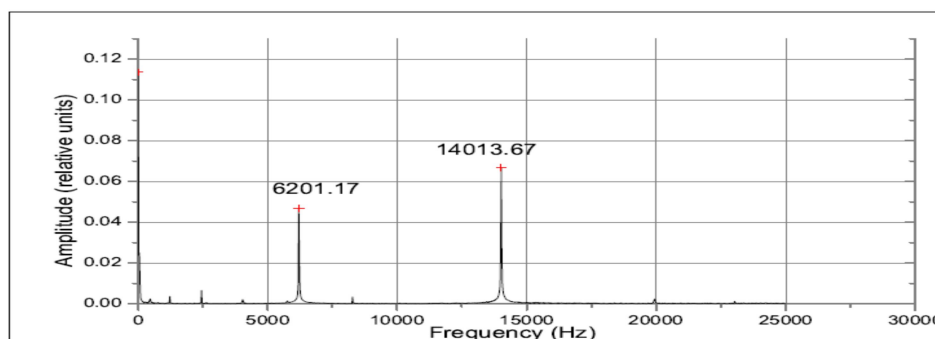


Figure 4.11 Frecvențele modurilor proprii ale sistemului ternar alamă-aluminiu-alamă.

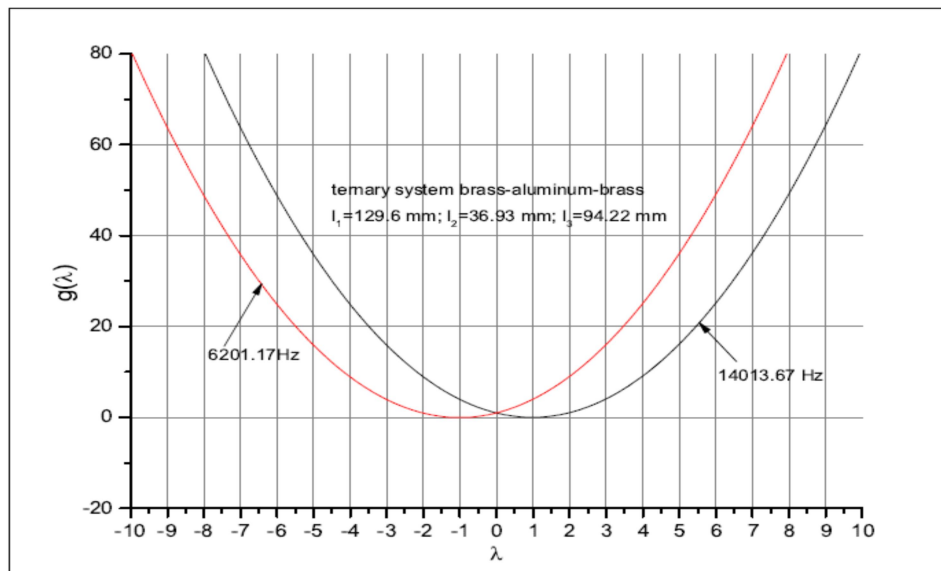


Figure 4.12 Comportarea funcției ecuației polinomiale pentru sistemul ternar alamă-aluminiu-alamă

Concluzii

Studiul prezentat aici relevă următoarele aspecte:

1. Atenuarea influențează frecvența modurilor proprii ale sistemelor
2. Metoda este aplicabilă numai dacă analiza Fourier de semnal poate oferi o bună precizie de determinare a frecvențelor (de ordinul hertziilor)
3. Pentru determinări de constante elastice este de preferat să lucrăm cu sisteme ternare, care din punct de vedere experimental sunt mai favorabile modurilor staționare longitudinale.
4. Metoda descrisă se poate aplica dacă detinem un vibrometru laser cu efect Doppler cu ajutorul căruia să facem determinări noncontact, care nu perturbă sistemul.

Capitolul 5

Contribuții legate de studiul și optimizarea unor structuri mecanice elastice și acustice

Această tematică care implică alegerea și aplicarea unor algoritmi de optimizare compatibili cu metoda matricii de transfer a fost publicată în *Computational Materials Science*, în *Physics Procedia* și comunicată prin prezentări orale la *International Congress on Ultrasonics ICU 2009 Santiago de Chile* și de asemenea la Conferințele NDE din Praga. [1],[2], [3], [4], [5].

5.1 Algoritmul annealing

Acest algoritm se bazează pe funcția de distribuție a distribuției Boltzmann. Conform cu aceasta într-un colectiv statistic de atomi care ocupă pozițiile (r_i), probabilitățile de ocupare la o temperatură T sunt exprimate de funcția de distribuție Boltzmann:

$$P(r_i) = \exp\{-E(r_i)/kT\} \quad (5.1)$$

unde $E(r_i)$ reprezintă energia corespunzătoare stării i . Starea de echilibru este starea în care energia totală înregistrează valoarea minimă. Este posibil să considerăm evoluția sistemului spre starea de echilibru ca o succesiune de stări, pentru care diferența dintre valorile energiilor corespunzătoare să satisfacă condiția $\Delta E < 0$, fiecare energie corespunzând la o anumită configurație spațială $(r_i), (r_j), \dots$. În acest caz evoluția sistemului poate fi reprezentată printr-un proces iterativ în care se acceptă numai acele stări care conduc la minimizarea energiei totale. În acest proces iterativ, realizat prin simulare pe calculator, dacă condiția $\Delta E \leq 0$ este îndeplinită pentru două stări succesive, atunci noua configurație a sistemului este acceptată și va fi folosită ca și configurație de pornire pentru următoarea iterație. Problema este însă că dacă energia totală înregistrează niște minime locale, este posibil ca evoluția să stagneze într-un astfel de minimum local. Evitarea stopării procesului se face repetând simularea pornind din alt punct inițial generat aleator, și comparând apoi valorile energiei sistemului. În această situație cazul $\Delta E > 0$ va fi abordat probabilistic prin introducerea unei probabilități de tranziție între două stări cu configurații diferite,

$$P(\Delta E) = \exp\{-\Delta E/kT\} \quad (5.2)$$

Această probabilitate de tranziție este comparată cu un număr aleator uniform distribuit în domeniul (0,1). Dacă acesta este mai mic decât $P(\Delta E)$, atunci noua configurație este acceptată și reținută, dacă nu procesul se reia. Acest pas conferă acestui algoritm caracterul stochastic.

În general în locul energiei ca funcție de stare, algoritmul annealing folosește funcția de cost, care depinde de parametrii unei configurații. Parametrul temperatură devine un parametru de control, care este modificat la valori din ce în ce mai mici, până când sistemul îngheață și nu mai apar modificări.

5.2 Matricea de transfer și algoritmul de simulare annealing (SA)

Dacă considerăm un sistem acustic multistrat format din n straturi, plasat între cele două medii semiinfinite, cazul 1D, conduce la matricea de transfer:

$$T = D_{n,out} P_n D_{n-1,n} P_{n-1} D_{n-2,n-1} \dots P_2 D_{2,1} P_1 D_{in,1} = D_{n,out} \left[\prod_{j=0}^{n-1} P_{n-j} D_{n-j-1,n-j} \right] D_{in,1} \quad (5.3)$$

Dacă fiecare strat este caracterizat prin parametrii impedanța caracteristică Z , grosimea a , și viteza de fază a undei c , toți acești parametri vor fi aranjați ca vectori, astfel: $\mathbf{z} = (Z_j)_j$, $\mathbf{a} = (a_j)_j$, $\mathbf{c} = (c_j)_j$, $j=1,2,3..n$, atunci mediul multistrat va putea fi caracterizat complet prin vectorul $\mathbf{X} = \mathbf{X}(Z, A, C) = (X_l)$, cu $l=1,2,3..3n$, format prin concatenarea a celor trei vectori definiți mai sus. Evident că matricea de transfer este funcție de parametrii mediului, adică $\mathbf{T} = \mathbf{T}(X_l)_l = \mathbf{T}(\mathbf{X})$ iar în plus ea va depinde și de frecvență. La rândul ei matricea de transfer leagă prin relația matricială

$$\begin{pmatrix} A_{out} \\ B_{out} \end{pmatrix} = T \begin{pmatrix} A_{in} \\ B_{in} \end{pmatrix} \quad (5.4)$$

amplitudinile componentelor Fourier ale undelor implicate:

$$\begin{aligned}
 A_{in}(\omega) &= \frac{I}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} u_{injected}(0,t) \exp(i\omega t) dt, \\
 B_{in}(\omega) &= \frac{I}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} u_{reflected}(0,t) \exp(i\omega t) dt, \\
 A_{out}(\omega) &= \frac{I}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} u_{transferred}(L,t) \exp(i\omega t) dt, \\
 B_{out}(\omega) &= \frac{I}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{+\infty} u_{reflected}(L,t) \exp(i\omega t) dt.
 \end{aligned}
 \tag{5.5}$$

Putem introduce o funcție de transfer care depinde de frecvență astfel:

$$F^*(\omega) = A_{out}(\omega) / A_{in}(\omega) \tag{5.6}$$

și funcția de cost a algoritmului:

$$C = \sum_{k=1}^N [F(\omega_k) - |A_{out}(\omega_k)|]^2 \tag{5.7}$$

care va fi folosită pentru un număr N de frecvențe. Funcția de cost va depinde evident de parametrii mediului $C = C(X_i)_i = C(X)$, astfel că algoritmul va deveni un algoritm de minimizare a funcției de cost, față de valorile prescrise $F(\omega_k)$. Un domeniu de interes al parametrilor care a și fost folosit la simulări este:

$$Z_j \in [1; 10], a_j \in [1; 10], c_j \in [1000; 5000], j = 1, 2, \dots, n \tag{5.8}$$

Algoritmul SA are în acest caz următorii pași. Se pleacă dintr-un punct X ales întâmplător, dar aflat în domeniul de interes, care va da o valoare inițială a funcției de cost C_0 . Parametrul T este ales la o valoare inițială de către noi. Se fac o serie de iterații pentru parametrii T din ce în ce mai mici, la iterația i parametrul T_i fiind ales astfel:

$$T_i = f \cdot T_{i-1} \tag{5.9}$$

cu $f=0.999$. Se calculează apoi funcția de cost într-un alt punct

$$\tilde{X}_i = X_{i-1} + R_i \tag{5.10}$$

unde R_i este un vector ales aleator într-un interval prestabilit. Se calculează abaterea funcției de cost față de iterația precedentă:

$$\Delta C_i = \tilde{C}_i - C_{i-1} \tag{5.11}$$

Se introduce funcția de probabilitate care poate avea următoarele valori:

$$P_i = \begin{cases} 1, \Delta C_i < 0 \\ \exp\left(-\frac{\Delta C_i}{T_i}\right), \Delta C_i \geq 0 \end{cases} \quad (5.12)$$

Astfel soluția cu parametrii $X_i = \tilde{X}_i$ devine candidatul cu probabilitatea P_i iar soluția anterioară va fi reținută cu probabilitatea $1 - P_i$. Iterația următoare $i + 1$ va urma același formalism. Vor fi reținute valorile X_i care au probabilitatea cea mai mare.

Am folosit acest algoritm pentru a optimiza structuri multilayer pentru filtre acustice. Unele dintre filtrele simulate folosind un ansamblu de două materiale otel și aluminiu și algoritmul annealing sunt redată mai jos:

1. Filtru trece sus: $n=10$ straturi; $F(\omega) = \begin{cases} 0, 0 < \omega < 250 \\ 1, 250 < \omega < 500 \end{cases}$

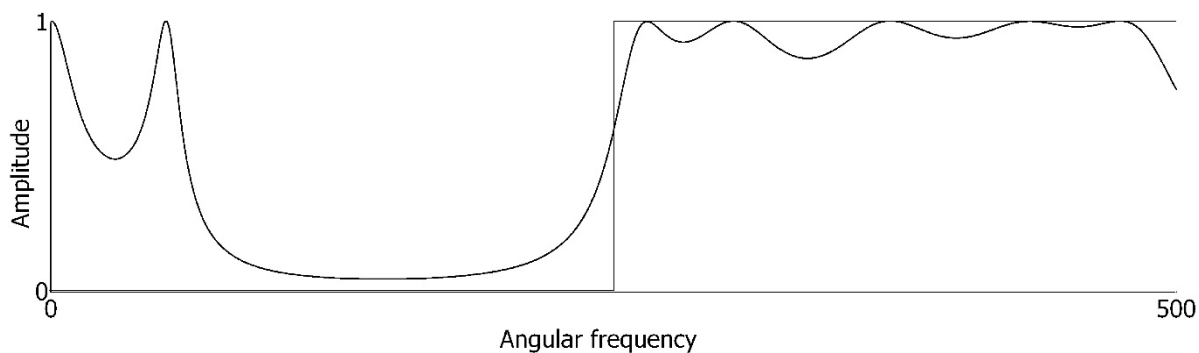


Figura 5.1 Filtru trece sus: $n=10$ straturi;

2. Filtru trece sus: $n=10$ straturi $F(\omega) = \begin{cases} 0, 200 < \omega < 450 \\ 1, 450 < \omega < 700 \end{cases}$

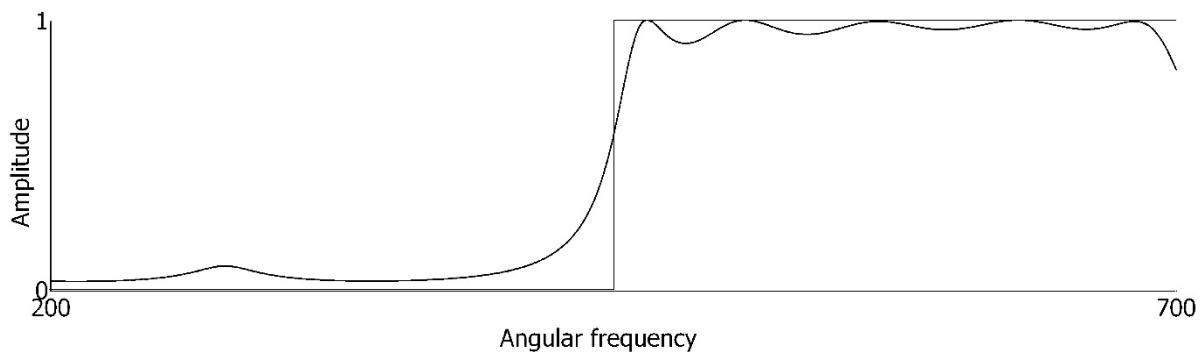


Figura 5.2 Filtru trece sus: $n=10$ straturi

3. Filtru liniar; $n=10$ straturi $F(\omega) = \frac{\omega}{500}, 0 < \omega < 500$

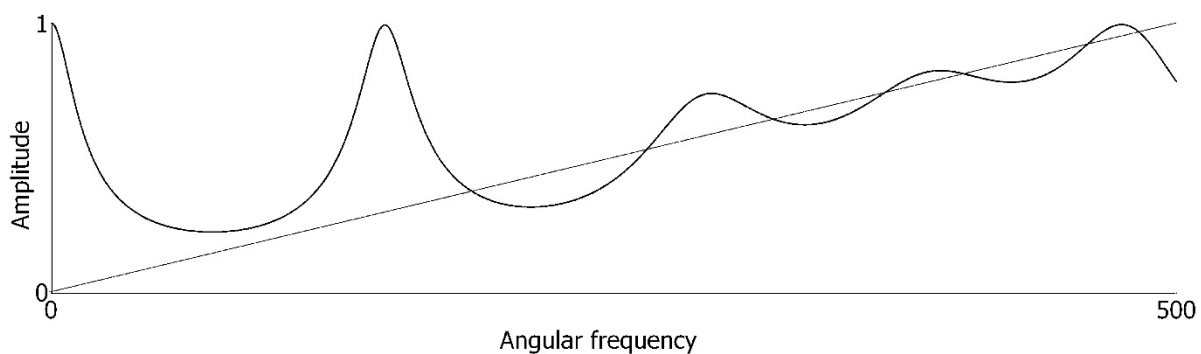


Figura 5.3 Filtru liniar $n=10$ straturi

4. Filtru liniar $n=10$ straturi; $F(\omega) = \frac{\omega - 200}{500}, 200 < \omega < 700$

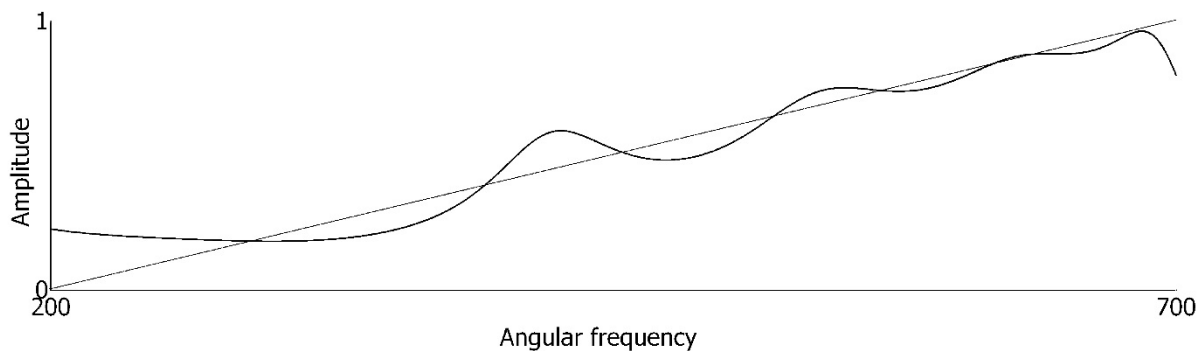


Figura 5.4 Filtru liniar $n=10$ straturi

5. Filtru trece jos n=10 straturi $F(\omega) = \begin{cases} 1, 0 < \omega < 250 \\ 0, 250 < \omega < 500 \end{cases}$

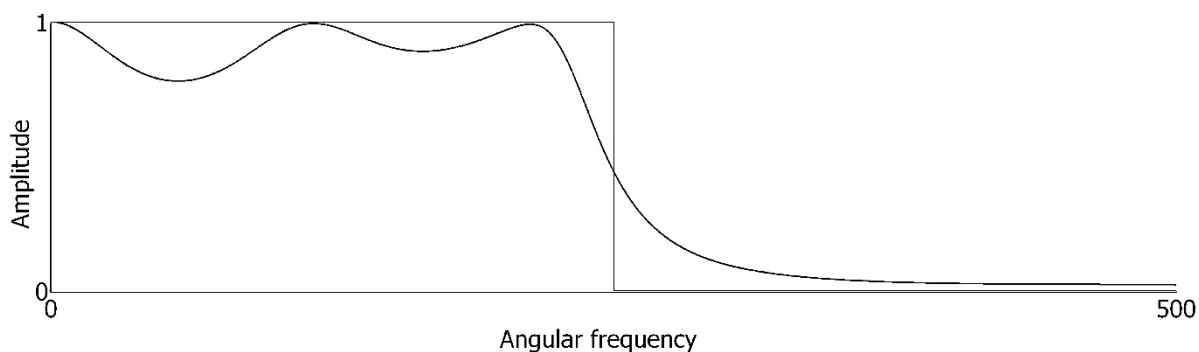


Figura 5.5 Filtru trece jos n=10 straturi

6. Filtru Gaussian n=20 straturi $F(\omega) = \exp\left(-\frac{(\omega - 250)^2}{2 \cdot 50^2}\right)$

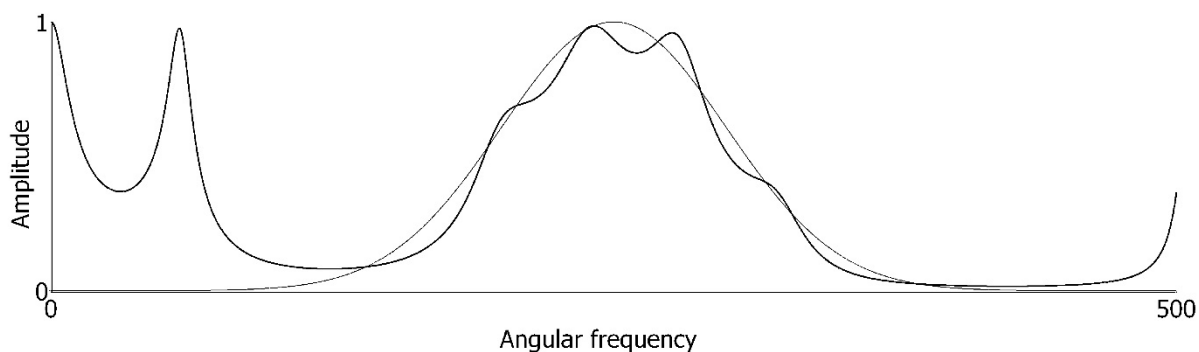


Figura 5.6 Filtru Gaussian n=20 straturi

5.3 Teste experimentale

Am realizat structuri multistrat formate din felii de două materiale otel si aluminiu, structuri obținute prin lipire cu clei epoxy-metal. Viteza de fazăa undelor longitudinale în cele două materiale a fost determinată experimental prin metoda rezonanței. Dispunerea alternativă a straturilor și dimensiunile feliilor de mediu sunt date în figura de mai jos:

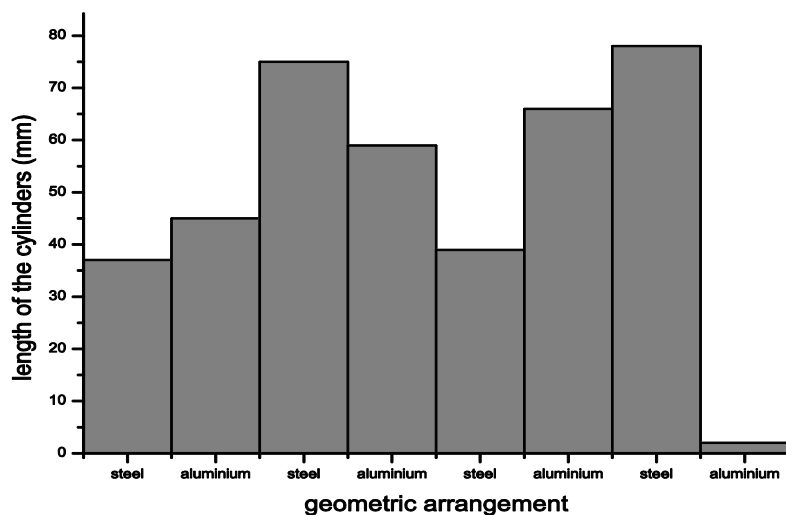


Figura 5.7 Geometria aranjării straturilor pentru obținerea unui filtru acustic trece-jos.

Curba de transfer ideală (prescrisă) și cea obținută folosind algoritmul SA arată în figura de mai jos, la fel și topografia proprietăților elastice ale materialelor implicate; Funcțional curba de transfer reprezintă un filtru trece jos cu frecvența de prag de 14350 Hz.

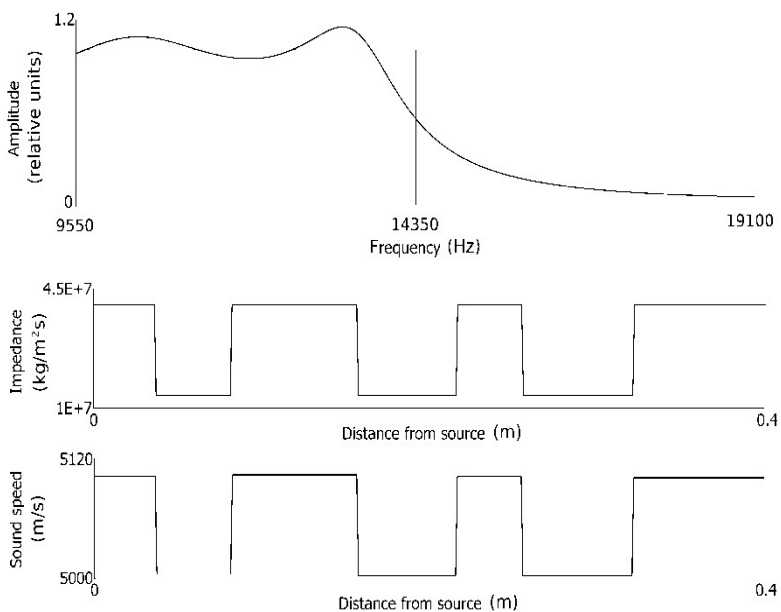


Figure 5.8 Curba funcției de transfer pentru mediul multistrat realizat experimental din oțel și aluminiu.

In figura este ilustrată funcția de transfer obținută experimental, care confirmă validitatea aplicării algoritmului SA.

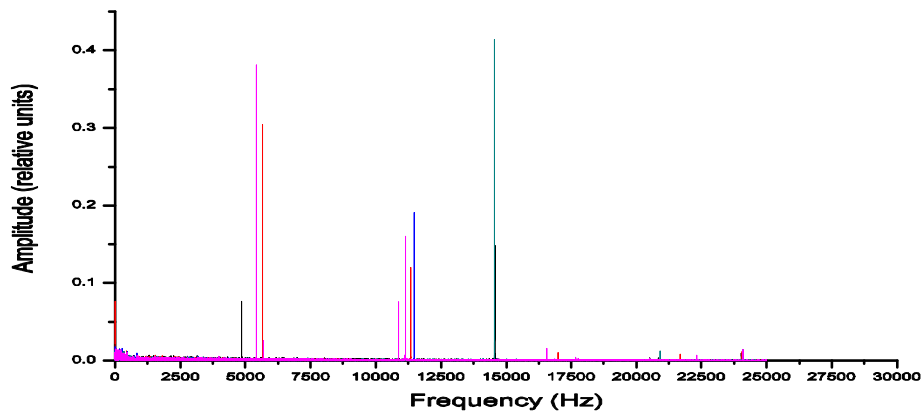


Figure 5.9 Funcția de transfer obținută experimental prin analiza spectrală Fourier

Capitolul 6

Contributii la prelucrarea semnalelor prin folosirea momentelor statistice de ordin superior

Aceste contribuții au fost publicate în articole din revistele *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, *International Journal of Microstructure and Materials Properties* și au fost comunicate prin comunicări orale la Conferințele Internaționale NDT in Progress Praga în 2007 și 2009. Aplicarea statisticilor de ordin superior în analiza de semnal a generat de asemenea un fructuos program de colaborare dintre colectivul echipei de Computer Simulations din departamentul IEFA și Departamentul de Fizică al New Jersey Institute of Technology, care aplica procesarea de semnale prin statistici de ordin superior la analiza spectrului solar de microunde, în cadrul Center for Solar-Terrestrial Research.

Statisticile de ordin superior implică calculul momentelor statistice de ordin superior. Unele din cele mai utilizate statistici de ordin superior, pe care le-am utilizat și noi au fost kurtosis și skewness.

Kurtosis-ul (K) se definește ca raportul dintre momentul centrat de ordinul patru și puterea a patra a deviației standard. Skewness este dat de raportul momentului centrat de ordinul trei și puterea a treia a deviației standard. Aceste statistici se utilizează în analiza de semnal, fie pentru semnalul în timp fie în spațiul Fourier deci pentru semnalul în frecvență. De exemplu, dacă calculăm kurtosis-ul pentru un semnal în timp $x(t)$, care are o distribuție gaussiană a amplitudinii, valoarea acestuia este 3. Se mai folosește și mărimea numită excesul de kurtosis (EK), care se obține prin scăderea constantei 3 din valoarea kurtosis-ului calculat. Prin urmare, dacă avem un semnal Gaussian vom obține pentru K valoarea 3 sau pentru EK valoarea 0. Dacă semnalele sunt nongausiene vom obține alte valori, deci avem o primă posibilitate de a clasifica semnalele. Kurtosis-ul aplicat la semnalul temporal este adesea folosit la detecția unor

În cazul în care se face o statistică a amplitudinilor puterii spectrale (PSD), atunci avem de-a face cu kurtosis-ul spectral (SK). Un calcul dinamic al K sau SK ne permite de exemplu să decelăm fenomenele tranzitorii dintr-un anumit proces.

6.1. Aplicarea statisticilor de ordin superior în analiza distribuției granulare

Dintre mărimile statistice care se definesc cu ajutorul momentelor de ordin superior mi-am îndreptat atenția asupra mărimii skewness și kurtosis. Pentru diverse tipuri de distribuții aceste mărimi iau valori care pot conduce la concluzii despre distribuție sau anumite evenimente tranzitorii.

Presupunem următoarele tipuri de distribuții:

1. Distribuție uniformă $f(x) = \frac{1}{b-a}, x \in [a; b]$
2. Distribuție Gaussiană $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right]$
3. Distribuție exponențială $f(x) = \lambda \exp(-\lambda x), x \geq 0, \lambda > 0$

Graficele acestora și valorile skewness și kurtosis sunt ilustrate în figura de mai jos [1]:

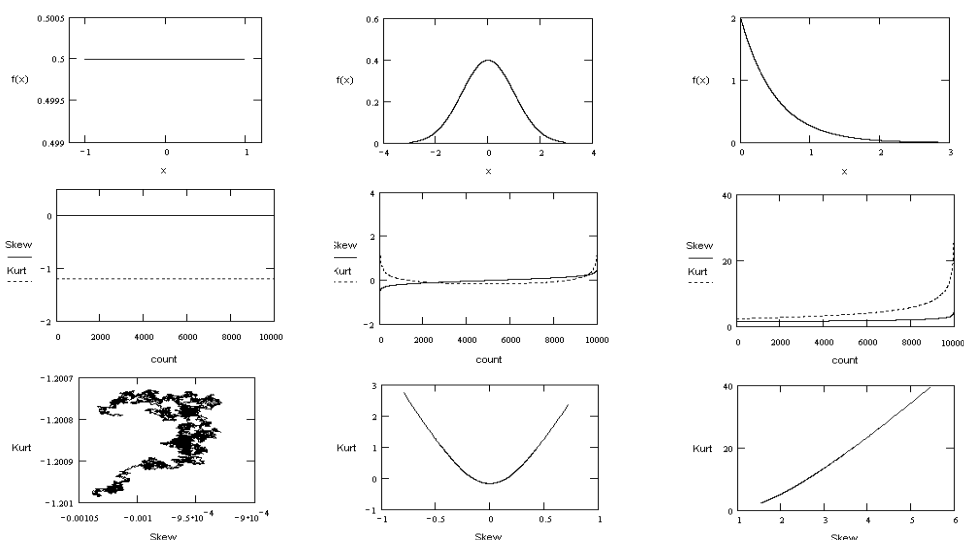


Figure 3 Graficele unor distribuții și valorile skewness-ului și kurtosis-ului pentru acestea

Am aplicat acest studiu la studiul creșterii granulelor în pudrele de alumina-zirconată, obținută prin precipitare prin metoda sol-gel. S-a studiat o pudră cu următoarea distribuție:

Raza medie: 19.58 nm

Standard deviation: 6.50 nm

Relative deviation: 33.2%

Raza minimă: 8.23 nm

Raza maximă: 44.81 nm

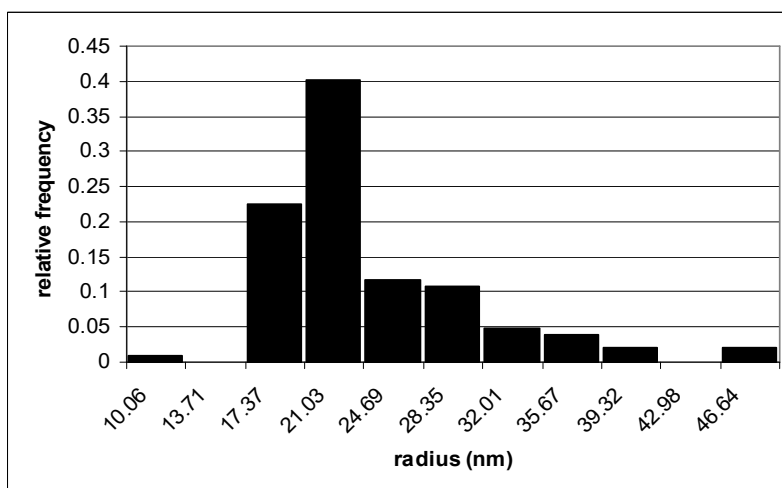


Figure 6. 4 Histograma distribuției razei particulelor

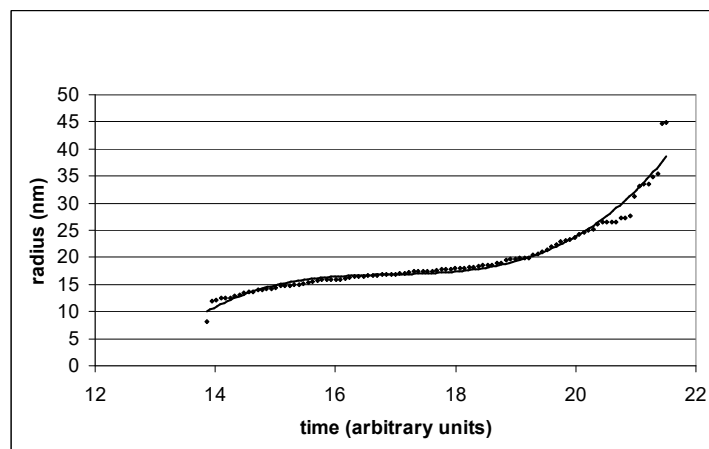


Figure 6.5 Dinamica creșterii razei particulelor cu timpul

Studiul permite o optimizare a procesului tehnologic de preparare a unor astfel de compuși.

6.2 Aplicarea SK la analiza semnalelor tranzitorii

Metodele statisticii presupun analiza unui mare număr de date. În cazul analizei pe baza de SK, este necesar să se achiziționeze pachete de date achiziționate în timp, se face analiza Fourier a PSD și se mediază pe un anumit număr de subspectre, iar apoi pe domenii spectrale înguste se calculează un estimator al Kurtosis-ului spectral.

În mod obișnuit datele se achiziționează cu ajutorul unor plăci de achiziție, performanțele acestora fiind impuse de cât de rapid evoluează fenomenul studiat și ce fel de semnale tranzitorii dorim să detectăm. În cazul folosirii unor plăci de achiziție FPGA, se poate implementa un sistem dinamic de supraveghere a apariției tranzițiilor. Mai jos este un exemplu de SK în care se pun în evidență semnale tranzitorii de 10KHz și 20 KHz cu durate diferite, care apar la trei momente de timp diferite, într-un proces în care se generează continuu un zgomot alb [1].

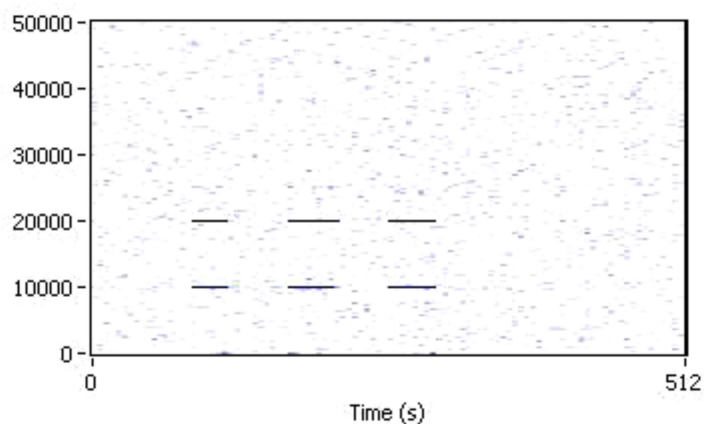


Figure 6.6 Doua semnale stationare tranzitorii de 10KHz și 20 KHz care apar la trei momente diferite de timp și durata acestora - reprezentare obținută prin SK.

6.3 SK aplicat în NDE

Am propus utilizarea SK în analiza de semnal magnetoacustic. Ideea aplicării acestor metode se bazează pe fenomenul de emisie magnetoacustică. Emisia magnetoacustică (MAE) este o dovadă indubitabilă a existenței domeniilor magnetice în probe feromagnetice. Domeniile

magnetice sunt separate între ele prin pereți de domenii, existând două tipuri de pereți de domenii: la 180° și la 90°. Pentru o probă feromagnetică plasată axial într-o bobină prin care trece un curent alternativ sinusoidal apar creșteri respectiv micșorări de domenii în funcție de sensul câmpului magnetic creat în bobina, ca în figura 6.4. Modificarea dimensiunii domeniilor magnetice conduce la o mișcare a peretilor de domenii.

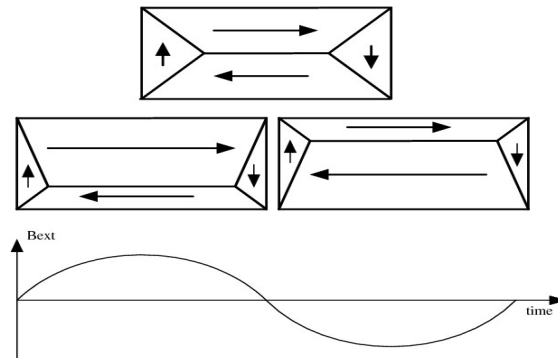


Figure 6.7 Cresterea alternativa a domeniilor de magnetizare intr-o proba feromagnetica

Ca o consecință a mișcării peretilor de domenii și în special a pereților la 90° va apare o magnetostricțiune axială care poate fi pusă în evidență prin interferometrie Doppler. În domeniul reversibil magnetic, mișcarea peretilor de domenii poate fi considerată ca o oscilație forțată, amplitudinea semnalului MAE depinzând de frecvență după o curbă lorentziană, dată de:

$$|A(\omega)|^2 = |A(\omega_0)|^2 \frac{\Gamma^2 \omega_0^2}{(\omega_0 - \omega)^2 + \Gamma^2 \omega^2} = |A(\omega_0)|^2 \frac{(\Gamma/2)^2}{(\omega_0 - \omega)^2 + (\Gamma/2)^2} \quad (6.1)$$

În general fenomenul implică atât dispersia cât și absorbția, pătratul modului amplitudinii semnalului MAE putând fi scris ca:

$$|A(\omega)|^2 = |A_{dispersive}(\omega)|^2 + |A_{absorbitive}(\omega)|^2 \quad (6.2)$$

$$\text{Pentru } \omega = \omega_0, \quad A_{dispersive}(\omega_0) = 0 \text{ și } A_{absorbitive}(\omega) \text{ este maximă.} \quad (6.3)$$

Ecuția de mișcare a peretilor de domenii atunci când proba este introdusă în câmpul magnetic alternativ este o mișcare forțată, dată de []:

$$m\ddot{x} + m\Gamma\dot{x} + m\omega_0^2 x = aM_s B_z e^{i\omega t} \quad (6.4)$$

Unde m reprezintă masa unității de suprafață a peretelui de domeniu, M_s este magnetizația domeniului iar a o constantă de material, și deci de aici:

$$A_{absorbitive}(\omega_0) = \frac{aM_s B_z}{m} \quad (6.5)$$

ceea ce înseamnă că valoarea maximă și lărgimea liniei de rezonanță MAE dau informații despre magnetizarea probei și dimensiunile pereților de domenii.

Existența unui defect într-o probă feromagnetică (de structură sau impuritate) care produce distorsiuni în rețeaua magnetică a probei va conduce la modificări ale formei liniei MAE și deci studiul MAE poate conduce la elaborarea unor metode de evaluare nedistructivă (NDE). Experimental am pus în evidență acest fenomen studiind fenomenul MAE pentru o probă fără și cu defecte. Defectele au fost produse artificial prin practicarea unor discontinuități în probă, obținute prin găurire. S-a utilizat un material feromagnetic din oțel carbon sub forma unei bare cilindrice de lungime $L=0.44\text{m}$ și diametru $D=0.02\text{m}$. Figura 6.5 ilustrează forma liniei MAE pentru proba fără și cu defecte [2].

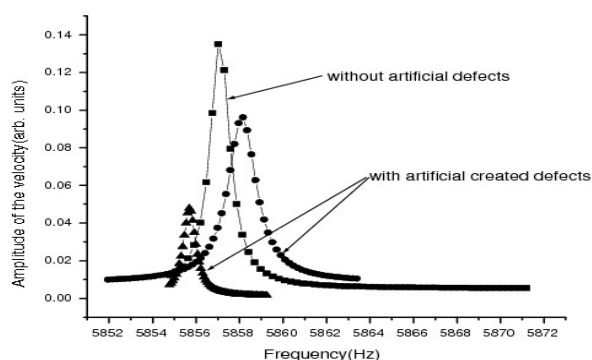


Figure 6.8 Influența defectelor asupra formei liniei MAE în absența și în prezența defectelor.

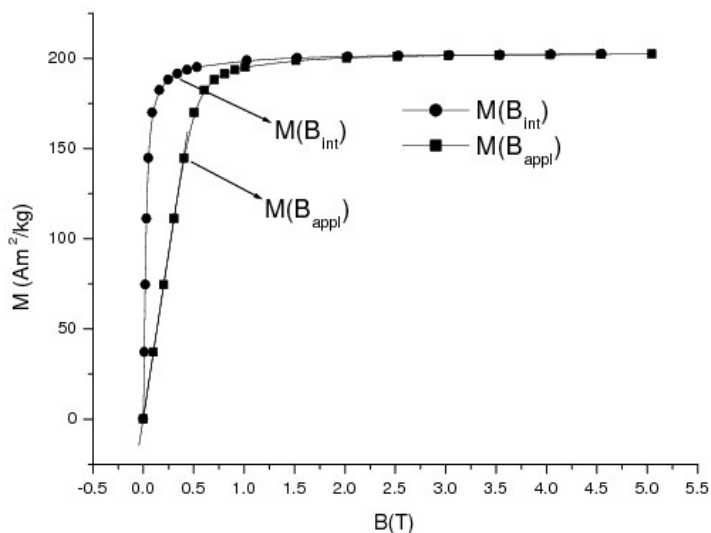


Figure 6.9 Curba de prima magnetizare a probei de otel carbon

6.4 Neomogenitate și magnetostricțiune

Magnetostricțiunea este funcție de câmpul magnetic aplicat probei. Dacă proba este introdusă într-o bobină de magnetizare, datorită efectelor de capăt câmpul magnetic nu este uniform, ceea ce înseamnă că nici magnetostricțiunea nu este uniformă. Dacă conectăm aceasta cu influența asupra impedenței caracteristice a probei, înseamnă ca din punct de vedere acustic proba noastră prezintă o variație cu distanța a impedenței elastice ca în figura 6.7

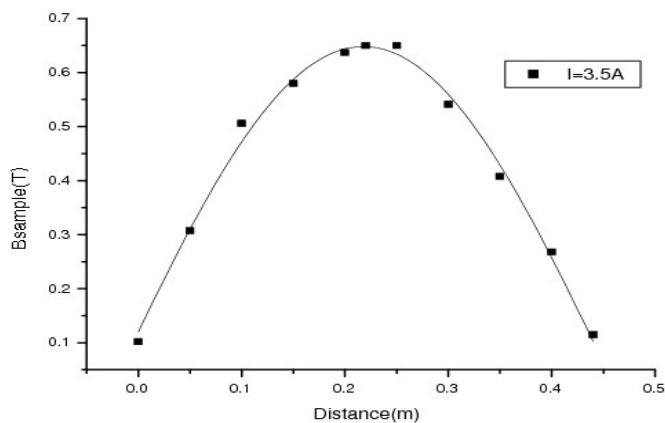


Figure 6.10 Inductia magnetica in interiorul unei bare feromagnetice plasata intr-un camp magnetic extern obtinut cu o bobina la un curent de 3.5 A

Caracteristica de transfer a unui semnal ultraacustic printr-o astfel de probă poate fi modelată plecând de la această formă a variației impedanței caracteristice, întrucât magnetostricțiunea modifică local modulul de elasticitate al materialului.

Variația modulului de elasticitate în funcție de magnetizarea probei poate fi descrisă de o dependență de forma:

$$\frac{E}{E_0} = 1 - bM^2 - dM^4 \quad (6.6)$$

unde b și d sunt constante de material iar M este magnetizarea.

Am studiat acest fenomen înregistrând dependența maximului coeficientului de transfer al primei frecvențe proprii pentru diferite valori ale curentului în bobina de magnetizare[3]. Dependența experimentală este ilustrată în figura 6.8.

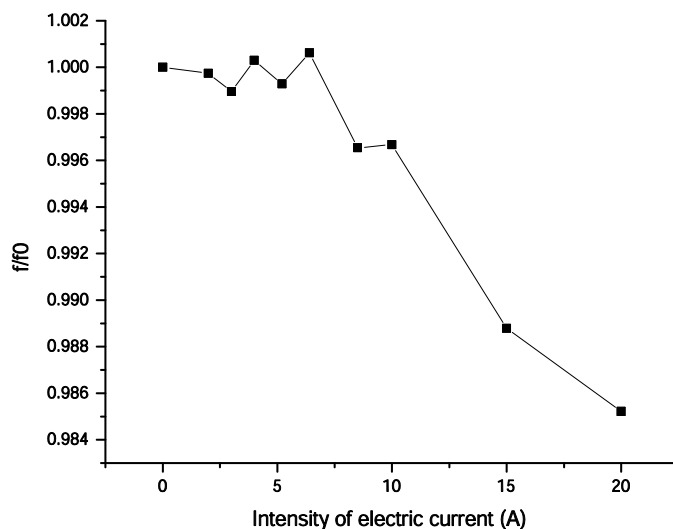


Figure 6.8 Dispersia maximului coeficientului de transfer al unei probe cilindrice feromagnetice în funcție de curentul din bobina de magnetizare.

În funcție de profilul câmpului magnetic din bobina de magnetizare magnetostricțiunea are un profil dat de figura 6.9

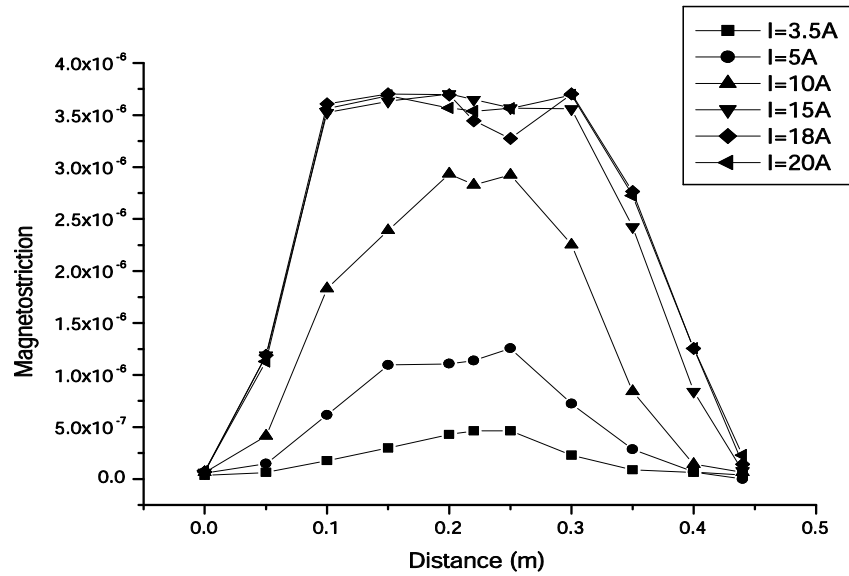


Figure 6.9 Profilul magnetostricțiunii longitudinale de-a lungul barei feromagnetice

Figura de mai sus sugerează o variație cu distanța a magnetostricțiunii dată de :

$$\lambda = \lambda_0 \cdot e^{-a(x-x_0)^2} \quad (6.7)$$

Din studiul coeficientului de transfer, o concordanță dintre teorie și experiment se obține dacă presupunem o lege de variație a modului de elasticitate în funcție de constanta de magnetostricțiune de forma[4],[5]:

$$\frac{E}{E_0} = 1 - \varepsilon\lambda \quad (6.8)$$

Adică o variație a impedanței caracteristice elastice de forma:

$$\frac{Z}{Z_0} = \sqrt{1 - \varepsilon\lambda} \quad (6.9)$$

unde s-a luat pentru ε valoarea 10^5 .

Pentru acest caz curba obținută prin simulare dată în figura 6.10 se apropie cel mai mult de curba experimentală din figura 6.8.

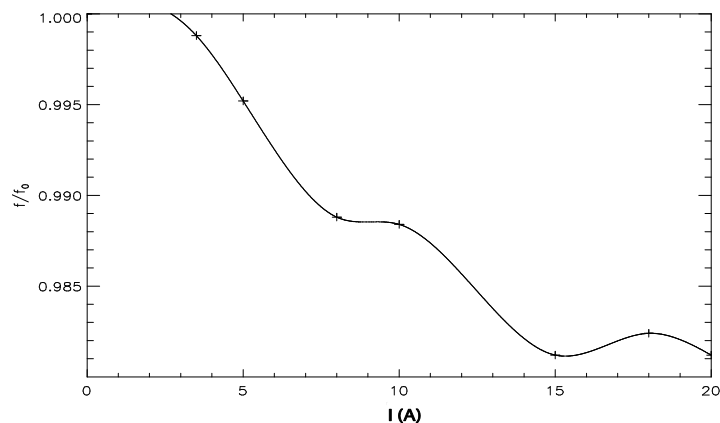


Figure 11 Dispersia coeficientului de transfer al primei frecvente proprii obtinuta prin simulare presupunand o dependenta a impedantei caracteristice de forma $\frac{Z}{Z_0} = \sqrt{1 - \varepsilon\lambda}$

In graficele de mai jos este redat SK in timpul magnetizarii a două probe feromagnetice diferite , una de otel si cealaltă de Ni. Pentru proba de otel se pot observa doua tipuri de domenii magnetice cu peretii aferenti, spre deosebire de proba pură de Ni.

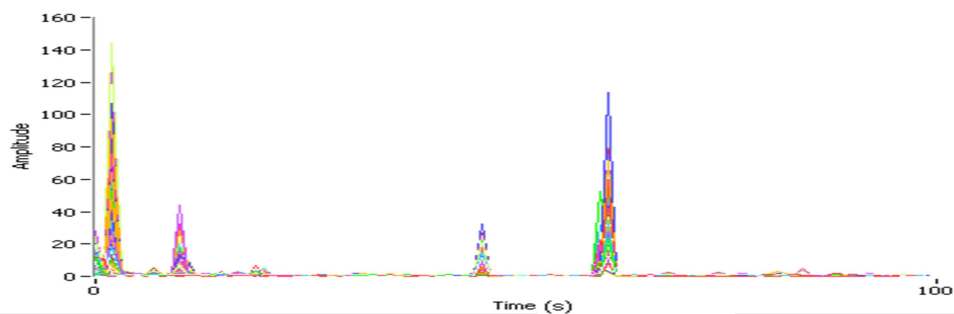


Figure 6.12 SK pentru o proba de otel-carbon

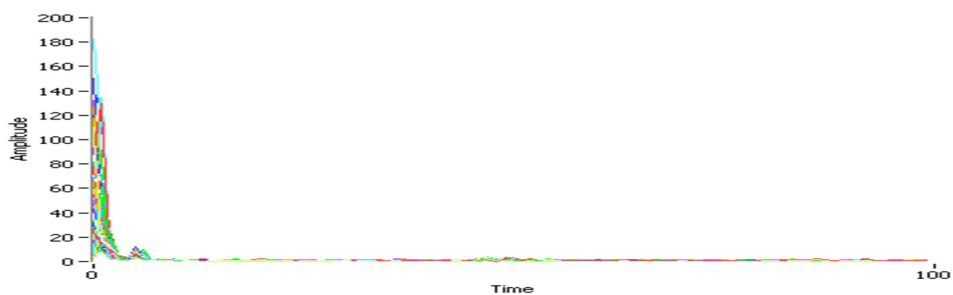


Figure 6.13 SK prntu o proba de NI , 99.9%

Capitolul 7

Cercetari asupra comportarii cristalelor sonice . Formalismul split-cuaternionic.

Studii asupra comportarii mediilor multistrat periodice, structuri care caracterizează cristalele sonice, am început odată cu studiile de aplicare ale matricii de transfer la medii periodice. Aceste cercetări au fost publicate in Ultrasonics, Computational Materials Science, Physics Procedia, Applied Acoustics, Mechanics of Materials. Pe tema aceasta am avut comunicări orale la ICU2015 Metz Franța, Sesiuni ale Academiei Romane si la conferințele Societății Române de Acustică. Un articol pe aceasta tema, cu titlul "Intrinsic transfer matrix method and split-quaternion formalism for multilayer media" a fost trimis spre publicare la Journal of Sound and Vibration. Primele experimente s-au derulat pe sisteme elastice realizate din bare metalice cu variație armonică a secțiunii transversale[5],[6],[7],[8],[9].

Cristalele sonice sunt importante deoarece periodicitatea are ca si consecința apariția unor regiuni de tipul stop-bandă sau trece –bandă in domeniul frecvenței[2],[3]. Aceste benzi sonice permise si interzise au aplicabilitate în domeniul izolării fonice sau filtrelor acustice sau în studiul proprietăților elastice ale materialelor[4].

Propagarea undelor elastice in astfel de structuri artificiale periodice este o temă foarte actuală. Existența unor benzi interzise acustice a căror plasament depinde de proprietățile elastice ale materialelor, de forma si dimensiunile straturilor și topologia dispunerii acestora, au fost cercetate atât in cazul 1D cât și în cazurile 2D și 3D. Combinând cu materiale care au și proprietăți electrice sau magnetice se pot obține structuri acordabile electric sau magnetic.

Una din metodele de simulare în vederea investigării comportării unor astfel de structuri este metoda matricii de transfer combinată cu o analiză modală bazată pe proprietățile matricii intrinseci de transfer[1].

Dacă considerăm un mediu multistrat periodic format din n perioade spațiale binare cu matricea de transfer $\tau = P_2 D_{12} P_1 D_{21}$, atunci matricea de transfer a întregului mediu poate fi scrisă astfel:

$$T = \tau^n D_{12} \quad (7.1)$$

unde

$$D_{12} = \begin{pmatrix} 1 + \frac{Z_1}{Z_2} & 1 - \frac{Z_1}{Z_2} \\ 1 - \frac{Z_1}{Z_2} & 1 + \frac{Z_1}{Z_2} \end{pmatrix} \quad (7.2)$$

este matricea de discontinuitate, Z_i impedanțele caracteristice elastice. T și τ pot fi scrise ca:

$$T = \begin{pmatrix} a & b^* \\ b & a^* \end{pmatrix} \quad (7.3)$$

$$\tau = \begin{pmatrix} \alpha & \beta^* \\ \beta & \alpha^* \end{pmatrix} \quad (7.4)$$

Valorile proprii ale fiecărei matrici sunt date de:

$$\lambda_{T1,2} = \operatorname{Re} a \pm \sqrt{\operatorname{Re}^2 a - 1} \quad (7.5)$$

$$\lambda_{\tau 1,2} = \operatorname{Re} \alpha \pm \sqrt{\operatorname{Re}^2 \alpha - 1} \quad (7.6)$$

Atunci vectorii proprii ai matricilor sunt:

$$U_T = C \cdot \begin{pmatrix} \lambda_T - a^* \\ b \end{pmatrix} \quad (7.7)$$

$$U_\tau = C \cdot \begin{pmatrix} \lambda_\tau - \alpha^* \\ \beta \end{pmatrix} \quad (7.8)$$

unde C este un număr complex oarecare, Se observă că valorile proprii sunt legate între ele prin relația:

$$\lambda_T = \lambda_\tau^n \quad (7.9)$$

Ecuția valorilor proprii pentru matricea teste dată de:

$$\lambda_\tau^2 - 2 \operatorname{Re} \alpha \cdot \lambda_\tau + 1 = 0 \quad (7.10)$$

În acord cu teorema Cayley-Hamilton matricea τ verifică o ecuație similară

$$\tau^2 - 2 \operatorname{Re} \alpha \cdot \tau + I = 0 \quad (7.11)$$

cu I matricea unitate 2×2 .

Putem scrie puterea n a matricii astfel:

$$\tau^n = A_n \tau - B_n I \quad (7.12)$$

unde B_n și A_n sunt niște coeficienți numerici. Se poate vedea că:

$$\tau^{n+1} = A_{n+1} \tau - B_{n+1} I \quad (7.13)$$

și deci între coeficienții numerici există relația de recurență:

$$A_{n+1} = 2 \operatorname{Re} \alpha \cdot A_n - B_n; \quad B_{n+1} = A_n \quad (7.14)$$

$$\text{Ceea ce conduce la valori inițiale: } A_0 = 0; \quad A_1 = 1 \quad (7.15)$$

Iar în final:

$$\tau^n = A_n \tau - A_{n-1} I \quad (7.16)$$

Dacă considerăm A_n ca o funcție continuă de $n \in \mathbf{R}$, iar relația de recurență scrisă ca:

$$A_{n+1} - 2A_n + A_{n-1} = 2(\operatorname{Re} \alpha - 1)A_n \quad (7.17)$$

obținem pentru coeficienții A_n :

$$A_n = C_1 \cdot \left(e^{\sqrt{2(\operatorname{Re} \alpha - 1)}} \right)^n + C_2 \cdot \left(e^{-\sqrt{2(\operatorname{Re} \alpha - 1)}} \right)^n \quad (7.18)$$

C_1 și C_2 fiind evident două constante ale combinației liniare a soluției. Folosind proprietățile soluțiilor ecuațiilor liniare se poate arăta în final că coeficienții A_n pot fi exprimați în funcție de valorile proprii astfel:

$$A_n = \frac{\lambda_{\tau_1}^n - \lambda_{\tau_2}^n}{\lambda_{\tau_1} - \lambda_{\tau_2}} \quad (7.19)$$

și sunt întotdeauna mărimi reale. Atunci puterile matricii τ vor fi date de:

$$\tau^n = \frac{\lambda_{\tau_1}^n - \lambda_{\tau_2}^n}{\lambda_{\tau_1} - \lambda_{\tau_2}} \tau - \frac{\lambda_{\tau_1}^{n-1} - \lambda_{\tau_2}^{n-1}}{\lambda_{\tau_1} - \lambda_{\tau_2}} I \quad (7.20)$$

Elementele matricii T vor putea fi exprimate astfel:

$$a = \frac{\lambda_{\tau_1}^n - \lambda_{\tau_2}^n}{\lambda_{\tau_1} - \lambda_{\tau_2}} \alpha - \frac{\lambda_{\tau_1}^{n-1} - \lambda_{\tau_2}^{n-1}}{\lambda_{\tau_1} - \lambda_{\tau_2}} \quad (7.21)$$

$$b = \frac{\lambda_{\tau_1}^n - \lambda_{\tau_2}^n}{\lambda_{\tau_1} - \lambda_{\tau_2}} \beta \quad (7.22)$$

7.1 Studiul comportării cristalelor sonice

Consider un cristal sonic format dintr-o structură periodică de n elemente binare identice, caracterizate de matricea de transfer τ . La rezonanță trebuie să avem:

$$\text{Im}(a - b) = 0 \quad (7.23)$$

În virtutea proprietăților matricii T putem scrie:

$$a - b = A_n(\alpha - \beta) - A_{n-1} \quad (7.24)$$

și deoarece $\text{Im}(a - b) = 0$, rezultă că trebuie să avem:

$$A_n \cdot \text{Im}(\alpha - \beta) = 0 \quad (7.25)$$

ceea ce se îndeplinește dacă:

$$\text{Im} \alpha = \text{Im} \beta \quad (7.26)$$

sau

$$A_n = 0 \quad (7.27)$$

pentru care

$$\operatorname{Re}^2 \alpha \neq 1 \quad (7.28)$$

care implică:

$$\lambda_{\tau_1}^n = \lambda_{\tau_2}^n, \lambda_{\tau_1} \neq \lambda_{\tau_2} \quad (7.29)$$

Condiția $\operatorname{Re}^2 \alpha < 1$ conduce la

$$\operatorname{Re} \alpha = \cos(m\pi/n) \quad (7.30)$$

Prin urmare dacă $\operatorname{Re}^2 \alpha = 1$ atunci $A_n \neq 0$, dacă $n > 0$

In concluzie, dacă avem un mediu periodic format din n perioade binare, condiția de rezonanță conduce la:

$$\operatorname{Im} \alpha = \operatorname{Im} \beta \quad (7.31)$$

$$\operatorname{Re} \alpha = \cos\left(\frac{m\pi}{n}\right), m = 1, 2, \dots, n-1 \quad (7.32)$$

Pentru un mediu periodic semiinfinit condiția $\operatorname{Re}^2 \alpha < 1$ va determina benzile de trecere ale cristalului sonic. Benzile de stopare vor fi determinate din condiția:

$$\operatorname{Re}^2 \alpha \geq 1 \quad (7.33)$$

Aceste relații sunt utile atunci când dorim să simulăm comportarea materialelor cu geometrii periodice de tipul cristal sonic, în vederea proiectării unor aplicații în domeniul filtrelor acustice, desigur dimensionând elementele corespunzător pentru a crea benzile respective în domeniul acustic sau ultraacustic.

7.2 Formalismul split-cuaternion

Un split-cuaternion este o mărime algebrică care poate fi scrisă astfel [10] [11]:

$$q = s + xi + yj + zk \quad (7.34)$$

Unde s, x, y, z sunt mărimi reale iar i, j, k au proprietatea că

$$i^2 = -1, j^2 = k^2 = 1, ijk = 1 \quad (7.35)$$

Un split-cuaternion poate fi descompus astfel:

$$q = Sc q + Vect q \quad (7.36)$$

adică poate fi descompus într-o parte scalară $Sc q = s$ și un vector $Vect q = xi + yj + zk$.

Complex conjugata cuaternionului va fi, dacă ținem cont de proprietățile de mai sus:

$$\bar{q} = s - xi - yj - zk = Sc q - Vect q \quad (7.37)$$

Și de asemenea putem defini o pseudonormă a cuaternionului:

$$N q = q\bar{q} = s^2 + x^2 - y^2 - z^2 \quad (7.38)$$

Un split cuaternion are o reprezentare matricială de forma:

$$T_q = \begin{pmatrix} Tm q & Sp q \\ (Sp q)^* & (Tm q)^* \end{pmatrix} \quad (7.39)$$

unde $Tm q = s + xi$ și $Sp q = y + zi$ se definesc ca și componentele temporală respectiv spațială ale cuaternionului în spațiul Minkowski. Proprietatea cea mai importantă pentru noi a split-cuaternionului este că, matricea produsului a doi cuaternioni $q_1 q_2$ poate fi scrisă ca un produs al celor două matrici ale cuaternionilor respectivi, adică:

$$T_{q_1 q_2} = T_{q_1} T_{q_2} \quad (7.40)$$

Pentru un mediu multistrat format din n elemente binare periodice matricea de transfer poate fi scrisă ca:

$$T = \tau^n D_{12} \quad (7.41)$$

Iar dacă în acest mediu există un defect, matricea de transfer va fi:

$$T = \tau^n \tau_d \tau^m D_{12} \quad (7.42)$$

unde τ_d este matricea elementului cu defect, trecând în formalismul cuaternionic , atribuim reprezentări matriciale ale cuaternionilor astfel: $\tau \mapsto q$, $\tau_d \mapsto q_d$, $D_{12} \mapsto q_{12}$, $T \mapsto q_T$

astfel că :

$$q_T = q^n q_d q^m q_{12} \quad (7.43)$$

care va avea componentele temporală respectiv spațială date de:

$$Tm q_T = \frac{1}{2} |q|^{m+n} \left[\begin{array}{l} E((m+n)\theta_q) A_d - 2v_{yz} E(n\theta_q) S(m\theta_q) \cdot \text{Im } A_d + \\ + v_{yz} S((m+n)\theta_q) B_d^* - 2|v_{yz}|^2 S(m\theta_q) S(n\theta_q) \cdot \text{Im } B_d \end{array} \right] \quad (7.44)$$

$$Sp q_T = \frac{1}{2} |q|^{m+n} \left[\begin{array}{l} E((m+n)\theta_q) B_d - 2v_{yz} E(n\theta_q) S(m\theta_q) \cdot \text{Im } B_d + \\ + v_{yz} S((m+n)\theta_q) A_d^* - 2|v_{yz}|^2 S(m\theta_q) S(n\theta_q) \cdot \text{Im } A_d \end{array} \right] \quad (7.45)$$

Evaluarea acestor componente în condiții de rezonanță ne permite să determinăm existența și numărul de defecte dintr-un mediu multistrat.

Experimental existența unui defect se pune în evidență prin măsurarea frecvențelor modurilor proprii ale sistemului multistrat. În figura 7.1 de mai jos este ilustrat acest fenomen pentru un mediu multistrat simulat , format din 10 elemente binare alamă-aluminiu, cu următoarele dimensiuni și caracteristici:

$$l_1 = l_{brass} = 29.96 \text{ mm} , \quad c_1 = 3150 \text{ m/s} , \quad \rho_1 = 8350 \text{ kg/m}^3 \quad \text{and} \quad l_2 = l_{aluminium} = 29.91 \text{ mm} , \\ c_2 = 5018.7 \text{ m/s} , \quad \rho_2 = 2712 \text{ kg/m}^3$$

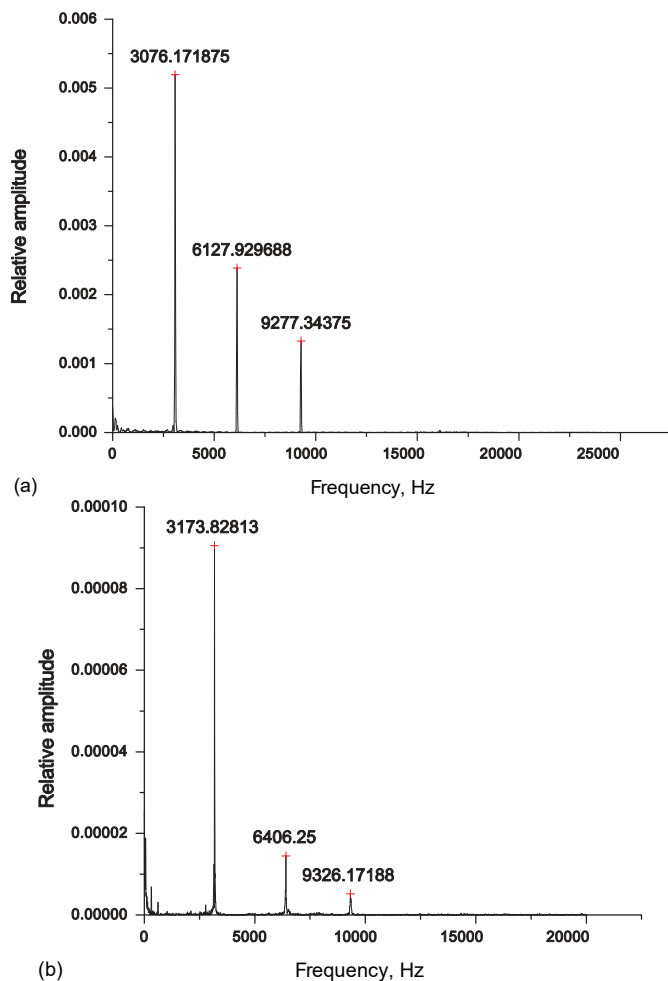


Fig.7 1. Frecvențele proprii măsurate pentru: (a) un sistem periodic constând din 10 perechi de sisteme binare; (b) același sistem în care s-a creat o inversie (defect) între 2 straturi ale sistemului binar.

In figura 7.2 este ilustrat setup-ul experimental compus din Laser Doppler Vibrometer Ometron 8329, analizor spectral Stanford Research Analyzer SRA760, interfața GPIB cu calculatorul și calculator cu softul de prelucrare a semnalului.

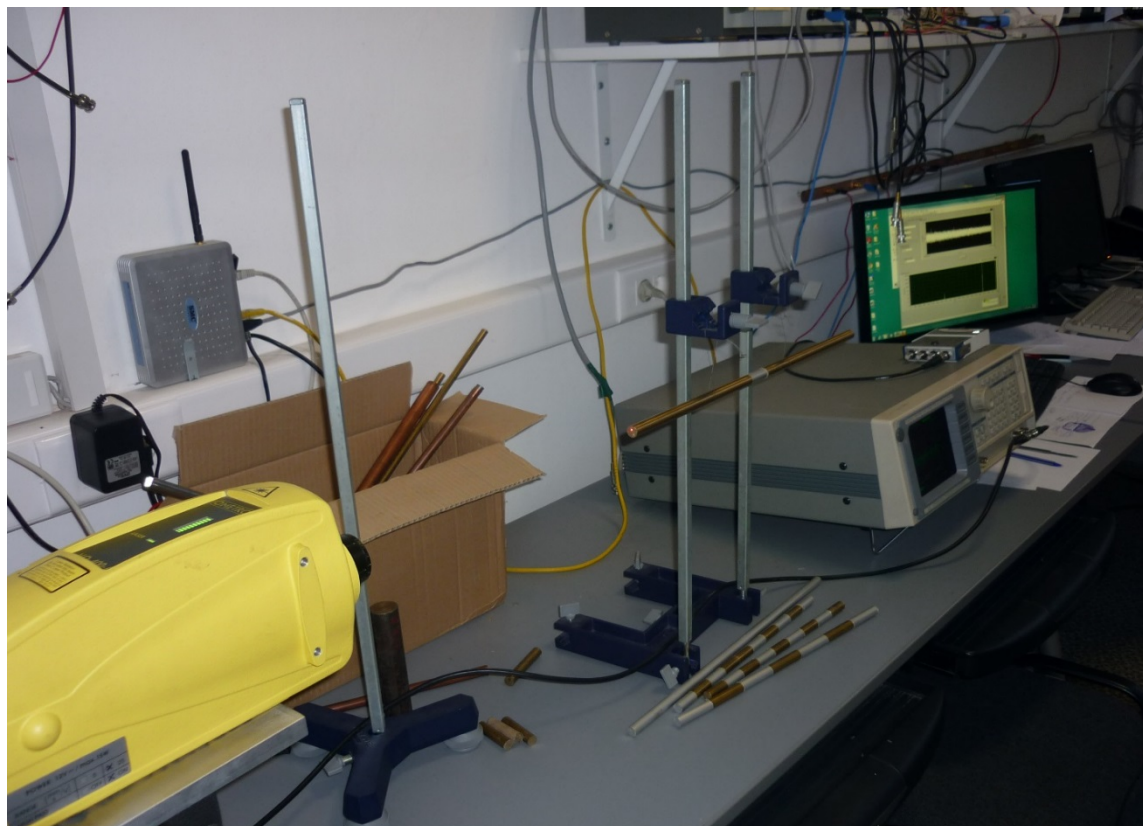


Figura 7.2 Fotografia setup-ului experimental

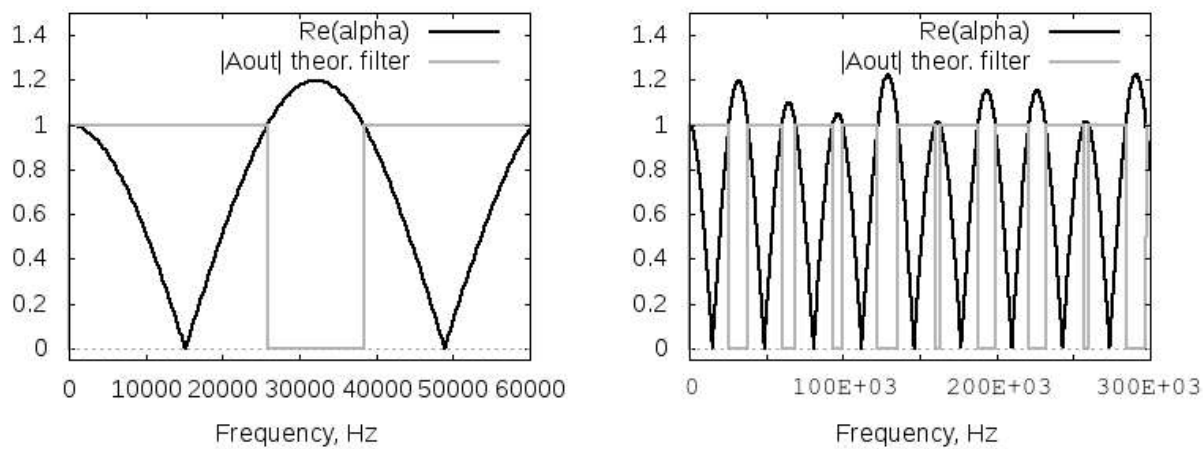


Figura 7.3 Graficul funcției $\text{Re}(\alpha)$ și funcția teoretică de transfer $|A_{out}|$ (deduse din condiția $\text{Re}(\alpha) < 1$) ca funcție de frecvență pentru un mediu infinit periodic din elemente binare alama-aluminiu, cu dimensiunile corespunzând sistemului din figura 7.1 a.

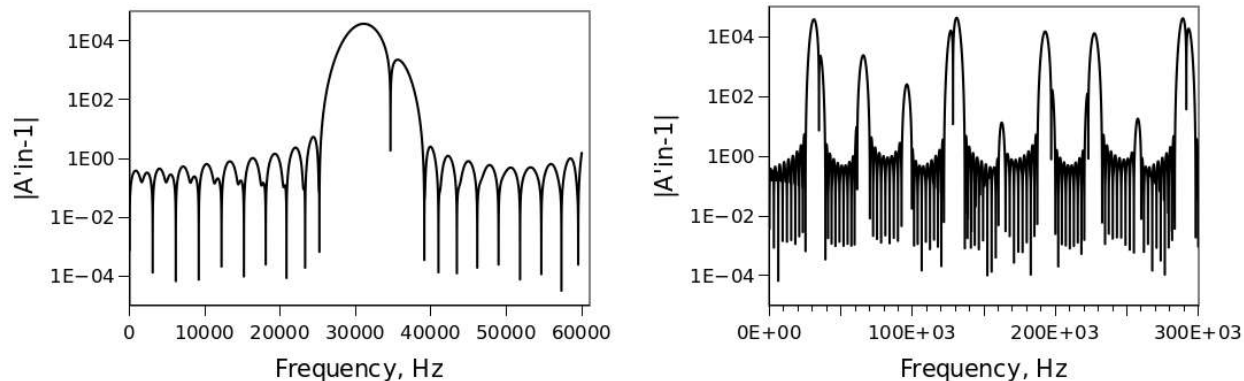


Figura 7.4 Spectrul de benzi al sistemului finit format din 10 elemente binare fără defect.

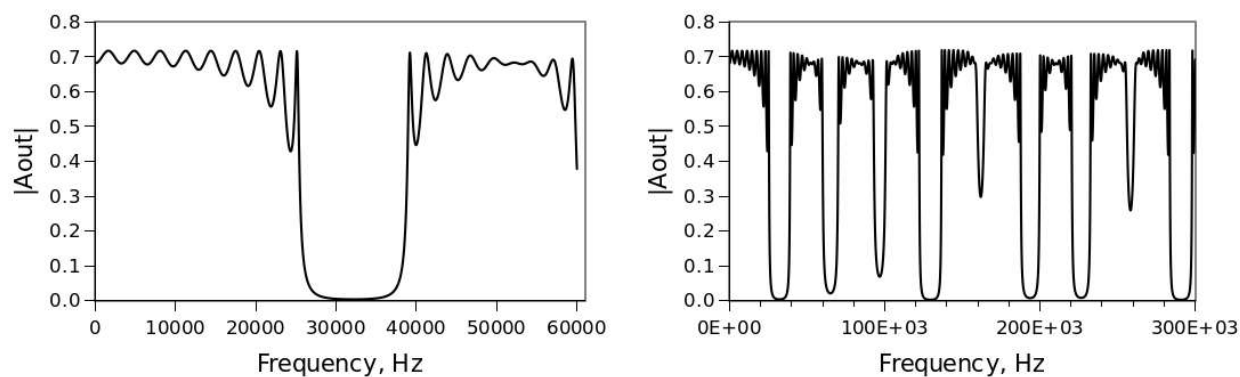


Figura 7.5 Spectrul simulat pe calculator folosind formalismul cuaternionic pentru sistemul periodic format din 10 elemente binare fara defect.

Concluzii

Abordarea studiului comportării materialelor multistrat care sunt caracteristice cristalelor sonice, folosind formalismul cuaternionic, face posibilă punerea în evidență a unor defecte sau modificarea comportării materialului cristalelor sonice prin măsurători de spectrometrie Fourier. Abordarea unor astfel de studii folosind acest formalism constituie o premieră în literatura de specialitate.

Capitolul 8

Contribuții la dotare și achiziționare aparatură de cercetare. Coordonare Laboratoare de cercetare

1. Aparatură de cercetare achiziționată prin proiecte interne și internaționale care poate fi pusă la dispoziția doctoranzilor

1.1 Echipament de microunde în bandă X pentru studiul proprietăților și comportării materialelor în domeniul microundelor

Acest echipament complex are în componență următoarele:

-Generator calibrat în banda X cu klystron 7.5-12 GHz

-Componente de microunde: izolator, schimbător de fază, cavități de microunde rectangulare și cilindrice, linie de măsură cu indicație analogică, atenuatori calibrați, sarcini adaptate

-Ghiduri de undă în bandă X

-Analizor de semnal în domeniul microundelor, în domeniul 1.5-34 GHz

Echipamentul a fost conceput pentru studiul comportării feritelor de microunde în câmpuri de microunde, măsurarea constantelor dielectrice prin metoda deplasării minimumului.

În figura 8.1 este ilustrat acest echipament aflat în laboratorul de cercetare CP38.



Figura 8.1 Echipamente de microunde in banda X

1.2 Echipament pentru studiul proprietăților elastice ale materialelor

Acest echipament are în componență următoarea aparatură:

- Vibrometru LASER tipul OMETRON 8329, care funcționează pe baza efectului Doppler și este capabil să măsoare viteze de vibrație în domeniul de frecvență 0-25 KHz având sensibilitatea de
- Analizor Fourier SRA760 Stanford 0-100 KHz, controlat de calculator prin interfață GPIB, soft de control și analiză date în LV7
- Plăci de achiziție de semnal pe 12 și 16 biti tipul NI 9215, NI9205, modul COMPAC RIO pentru conectarea a mai multor plăci de achiziție simultan
- interfețe GPIB USB și GPIB PCI
- soft de achiziție și analiza LV2013
- calculator cu W7-32 biti dedicat

Cu ajutorul acestui echipament se pot determina viteze de fază și de grup ale undelor respectiv pulsurilor în medii solide elastice și implicit constante elastice-modulul lui Young, coeficienți de amplificare, atenuare ultrasunete de joasă frecvență, se pot de asemenea studia generarea și influența ultrasunetelor asupra proprietăților substanțelor. Echipamentul se afla în Laboratorul de Acustică Fizică al Departamentului.

Fotografia de mai jos ilustrează o imagine de ansamblu a instalației.

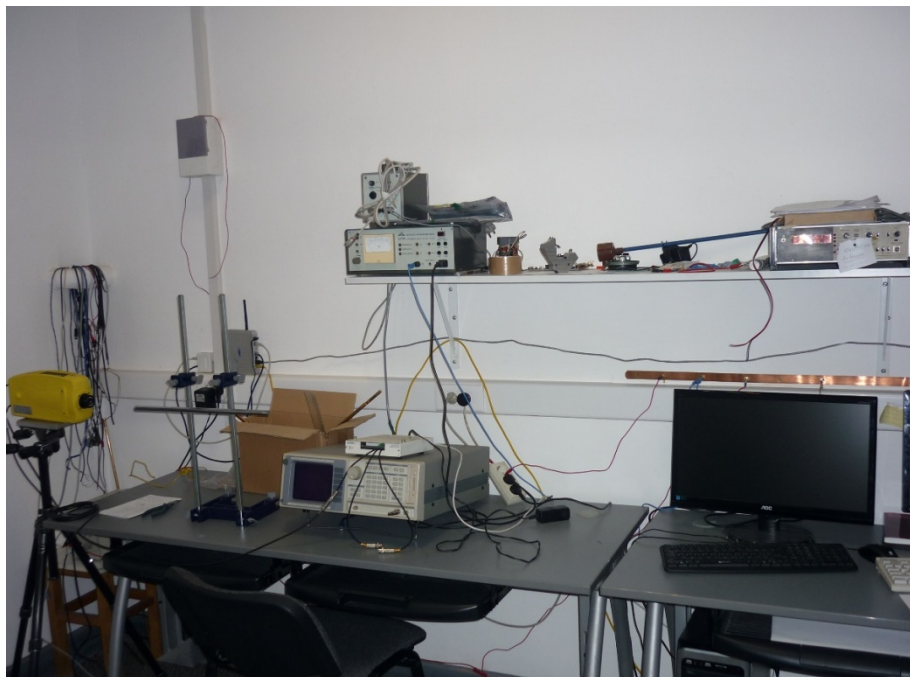


Figura 8.2 Echipament pentru studiul proprietăților elastice ale materialelor solide

1.3 Echipament pentru studiul proprietăților electrice ale materialelor

Echipamentul are în alcătuire următoarea aparatură:

- stand JANDEL UNIVERSAL PROBE dedicat cu 4 sonde de wolfram, cu posibilități de reglare controlată a apăsării pe probe de tipul peliculă
- ansamblu Keithley format din sursă de curent tip 6221 și nanovoltmetru de tipul 2882A interfațate cu calculatorul prin interfață GPIB B USB
- calculator dedicat cu soft LV2013

Echipamentul este conceput pentru a măsura rezistivitatea electrică a unor probe conductoare și semiconductoare de tipul planar cu grosime maximă de 1 mm.

Fotografia echipamentului este prezentată în figura 8.3



Figura 8.3 Echipament pentru măsurarea rezistivităților electrice prin metoda celor 4 sonde

1.4 Echipament pentru studiul comportării fibrelor optice

Echipamentul conține următoarea aparatură:

- Laser cu diodă laser in domeniul infraroșu cu putere reglabilă
- Lasere monomod cu He-Ne de mică putere
- Laser cu He-Ne cu modulație externă de semnal
- fibre optice și componente pentru fibre optice
- Powermetru optic Newport 1830C cu senzor in infraroșu, controlat de calculator prin interfata GPIB USB
- calculator dedicat

1.5 Echipament achiziție și prelucrare de imagine

Echipamentul conține:

-Camera monocromă CCD 1.4 Megapixel cu obiectiv NIR

-Placă de achiziție de imagine NI PCI 8231

-Software NI Vision Acquisition pentru LV 8.2

-calculator dedicat

Echipamentul este prezentat in fotografia din figura 8.4.



Figura 8.4 Echipament pentru achizitie si prelucrare de imagine

1.5 Echipament pentru studiul proprietăților magnetice ale materialelor

-Sistem criogenic 7T Mini Cryogen He Free de la Cryogenics ($T=2-700K$ and $B=0-7T$) pentru studiul proprietăților magnetice, electrice și de transport termic ale materialelor(figura 8.5)



Figura 8.5 Sistemul criogenic pana la 2.5 K pentru studiul proprietăților magnetice, conductivitatilor electrice si termice ale materialelor



Figura 8.6 Sistem PureLab HE 2GB" boxa cu manusi cu atmosfera controlată

Acest echipament se află la Institutul ICDT al Universității și este gestionat de către Colectivul de Fizică. Echipamentul permite studii în domeniul temperaturilor joase de până la 2.5 K și câmpuri magnetice de până la 7T. Echipamentul poate fi controlat la distanță.

1.6 Echipament pentru studiul comportării materialelor în câmpuri sonore

Echipamentul conține următoarea aparatură:

-tub acustic Bruel&Kjaer în variantele:

Large tube 50Hz-1.6 KHz

Medium tube 100Hz-3.2 KHz

Small tube 500Hz-6.4 KHz

- Platformă de achiziție și analiză PULSE 7700 cu 5 canale
- Software de caracterizare a materialelor tip 7758.

Echipamentul este destinat măsurătorilor de atenuare sonoră prin materiale folosind metoda matricii de transfer. In ceea ce privește platforma PULSE, am participat în 2008 la un curs de utilizare organizat la Copenhaga de către specialiștii B&K . In figura 8.7 este redată fotografia tubului acustic iar în figura 8.8 cea a platformei PULSE 7700.



Figura 8.7 Tubul acustic Bruel&Kjaer

1.7 Echipament pentru studiul comportării unor materiale posibil indicate ca senzori de gaz

Acest echipament a fost montat în vederea efectuării unor măsurători asupra proprietăților electrice, în principal rezistivității electrice ale unor materiale elaborate de către INCDFM București-Măgurele, în vederea găsirii unor substanțe capabile a fi folosite în detectarea unor gaze cum ar fi: hidrocarburi, monoxid de carbon, alcool.

Echipamentul conține:-incinta de măsură care se poate vida

-modul termic de încălzire, măsurare și reglare a temperaturii,-pompa de vid și instalația de măsurare a vidului-picoampermetru Keithley cu sursă interfațat GPIB cu calculatorul

-placă de achiziție NI 12 biti 4 canale+-soft de achiziție de date EXCEL LINX

-Soft ORIGIN 7.5 de prelucrare și reprezentare date

În figura 8.9 este prezentată fotografia instalației montată în sala CP32, Colina.



Figura 8.9 Instalație pentru măsurarea și caracterizarea senzorilor de gaz

Capitolul 9

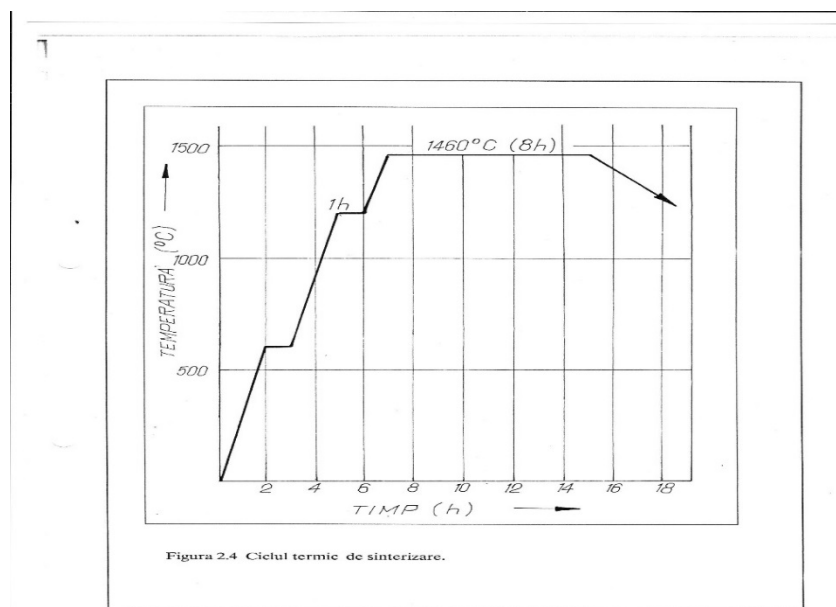
Alte contribuții din domeniul ingineriei materialelor

9.1 Prepararea și studiul unor ferite policristaline folosite în microunde

Aceste preocupări în domeniu au făcut obiectul tezei de doctorat și au constat în prepararea, studierea și utilizarea unor materiale ferimagnetice de tipul granat de ytriu și fier (YIG), materiale care sunt larg folosite în circuitele pasive de microunde, cum ar fi: rezonatori de microunde, izolatori de microunde, circulatori cu rotație Faraday.

Probele preparate au fost probe policristaline disc sau cilindrice, prepararea făcându-se prin procedee ceramice. Amestecul de oxizi – oxidul de Fe, oxidul de Y, oxidul de Dy- a fost presat în prezența unui liant (dextrina), apoi a fost presinterizat la 1200°C și apoi sinterizat la 1400°C . Întrucât formarea fazei de granat $\text{Y}_3\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ depinde foarte mult de păstrarea oxigenului în rețeaua cristalină, presinterizarea și sinterizarea s-au făcut în atmosferă de oxigen.

În figura 9.1 este prezentat ciclul termic de sinterizare al probelor de granat de Y și Dy, probe în care o anumită fracție atomică de atomi de Y a fost modificată prin introducerea de atomi de Dy.



20

Figura 9.1 Ciclul termic de sinterizare al probelor de granat de Y și Dy

Probele au fost studiate prin spectrometrie Mossbauer, prin care se pot detecta pozițiile în rețeaua cristalină a atomilor de Fe. În cazul granaților Fe ocupă în rețeaua cristalină două poziții distincte, tetraedrice și octaedrice, proprietățile magnetice ale acestor materiale fiind determinate de interacția de superschimb. În figura 9.2 este redat spectrul Mossbauer de referință a unei probe $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, probă în care atomii de fier au o singură poziție în rețeaua cristalină. Sunt dați în figură valorile parametrilor spectrului Mossbauer pentru acest oxid, față de care efectuam măsurători.

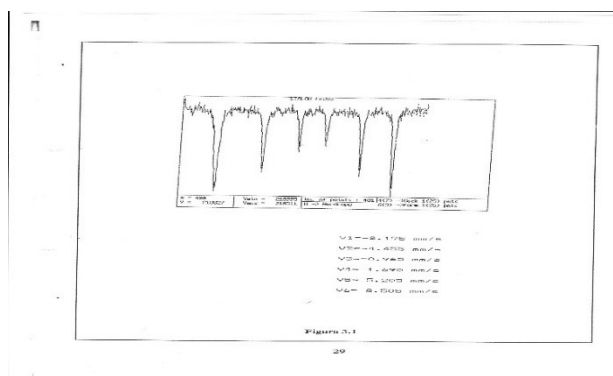


Figura 9.2 Proba etalon Fe2O3

În figura 9.3 este ilustrat spectrul Mossbauer al probei $\text{Y}_{3-x}\text{Dy}_x\text{Fe}_5\text{O}_{12}$ cu $x=0.5$, în care se pot observa ușor cele două subspectre ale fierului din cele două poziții cristaline.

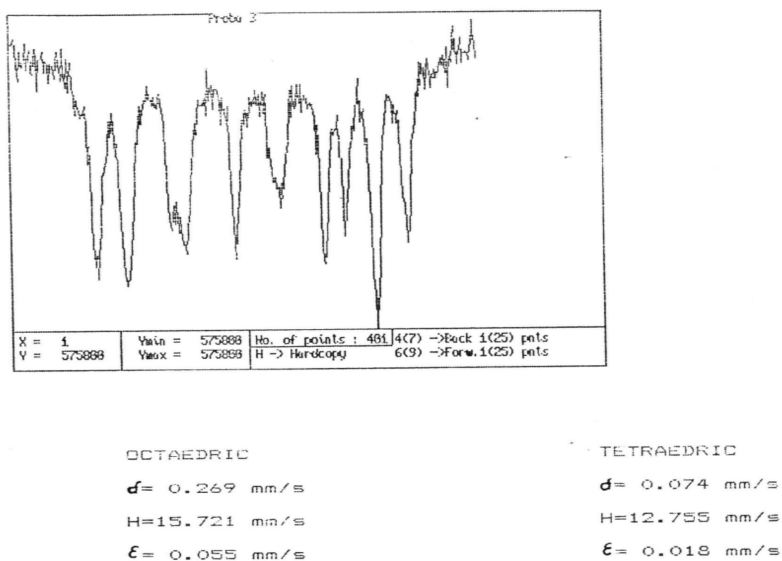


Figura 9.3 Spectrul Mossbauer al unei probe policristaline de granat de Y și Dy

Comportarea probelor a fost verificată folosind rezonanța feromagnetică, plasând proba într-o cavitate cilindrică de microunde de tipul TE_{111} și măsurând frecvențele de rezonanță și lărgimea curbei de rezonanță, cu ajutorul cărora se poate estima parte reală și partea imaginară a tensorului permeabilității magnetice. În figura 9.4 este ilustrat fenomenul de rezonanță al cavității de microunde în prezența probei disc ferimagnetice de granat.

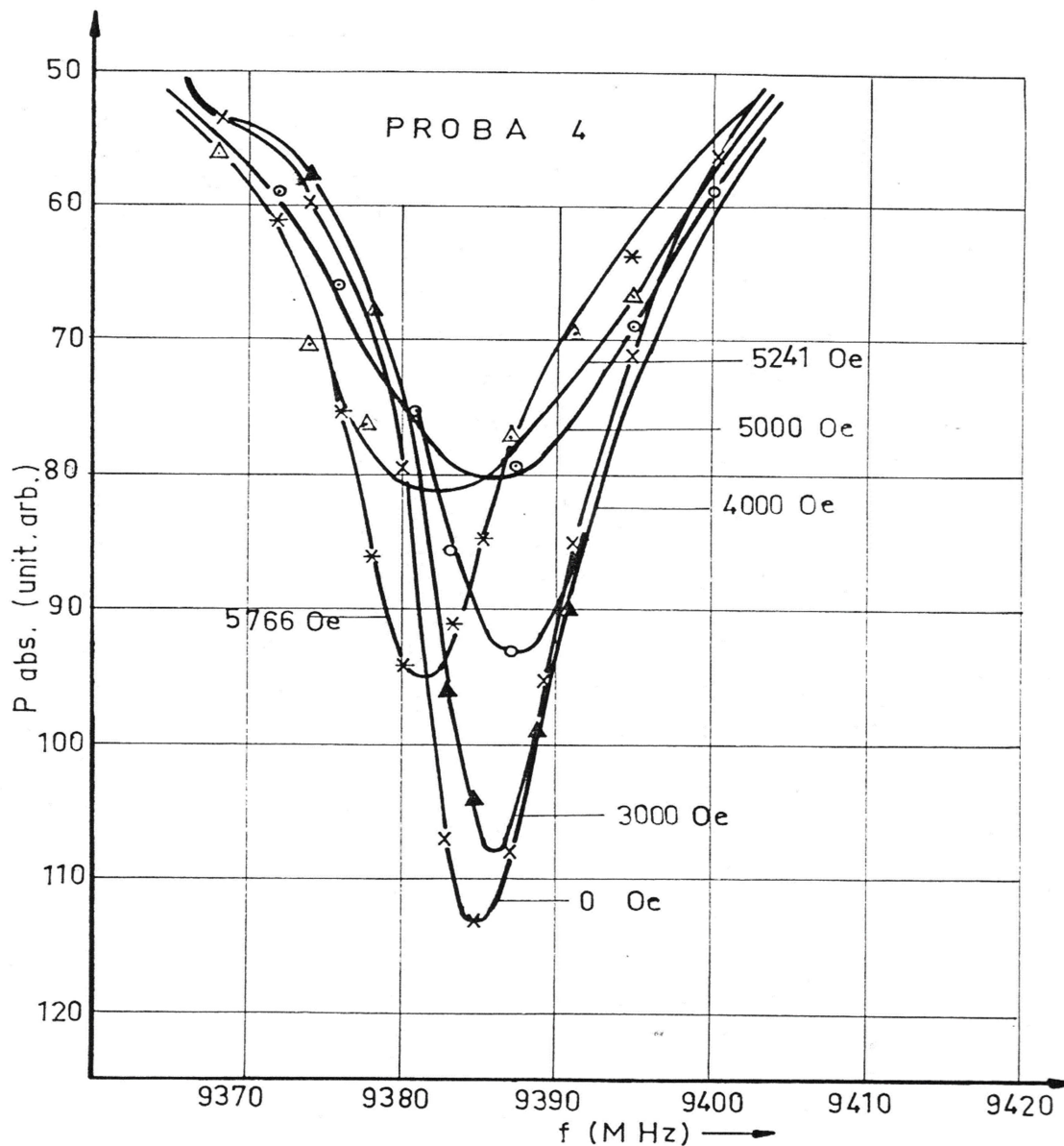


Figura 9.4 Cavitătea TE_{111} cu proba de granat $Y_{3-0.75}Dy_{0.75}Fe_5O_{12}$

Astfel de substanțe au proprietatea că la anumite valori ale câmpului magnetic în care sunt plasate, permeabilitatea magnetică devine negativă, ceea ce duce la un fenomen de rejecție a câmpului de microunde din probă și deci pot fi folosite în comutarea semnalelor de microunde. Studiile și cercetările legate de această topică au fost cuprinse în lucrările [1] și [2].

9.2 Studiul influenței lichidelor ionice asupra calității și proprietăților furnirelor

Acest studiu a urmărit obținerea unor materiale antistatice prin impregnarea cu soluții lichide ionice. Cercetările pe această temă au fost publicate în [3].

9.4. Studiul și caracterizarea unor materiale ceramice folosite ca electrozi în pilele de combustie IT-SOFC

În aceste studii am caracterizat probe de alumină dopată cu oxid de Ce stabilizat cu oxid de Y ($\text{CeO}_2/\text{Y}_2\text{O}_3$) (nanopulberi), din punct de vedere electric și mecanic [4]. S-au studiat probe preparate prin metoda sol-gel, iar apoi sinterizate la temperaturi între 1300 și 1500 °C. Analiza structurii s-a făcut prin difracție de raze X și SEM.

Folosind metoda matricii intrinseci de transfer și ansambluri ternare alamă-alumină dopată-alamă, s-a determinat viteza undelor longitudinale în probe și modulul de elasticitate al probelor. S-a studiat variația modulului de elasticitate cu temperatura și conținutul de oxigen [4][5],[6].

9.5 Studii asupra calității și influenței lemnului de rezonanță folosit la confecționarea corpului chitarelor clasice [7]

Aceste studii s-au făcut în cadrul unui colectiv interdisciplinar de cercetători și specialiști în ingineria lemnului, specialiști în domeniul vibrațiilor și analizei modale și subsemnatul ca fizician. Pentru a înțelege tonalitatea și pentru a dezvolta noi tipuri de cutii de rezonanță pentru chitarele clasice s-a investigat fenomenul de rezonanță al acestora și de asemenea s-a făcut un studiu comprehensiv al figurilor Chladni pe plăcile superioară și inferioară ale cutiei de rezonanță ale corpului diferitelor tipuri de chitare. [8].

BII. Planuri de evoluție și dezvoltare ale carierei universitare

Planurile de evoluție și dezvoltare ale carierei mele universitare se derulează în cadrul celor două componente ale activității mele din Universitatea Transilvania din Brașov, activitatea de cercetare științifică și activitatea didactică de elaborare și predare de cursuri și aplicații. Cele două componente fundamentale ale activității mele de cadru didactic se întrepătrund în cadrul activităților de îndrumare a cercetării studenților masteranzi, doctoranzi și cercurilor științifice ale studenților din ciclul de licență.

Obiectivul general al activității mele academice constă în a presta o activitate de calitate, utilă, care să valorifice experiența mea în activitatea de cercetare și didactică, să implice o cercetare aplicativă reală în domeniul materialelor și care să conducă la dezvoltarea unor aplicații compatibile cu creșterea calității vieții societății.

BII.1 ACTIVITATEA DE CERCETARE

Obiectivul activității mele de cercetare constă în elaborarea și studierea unor materiale compatibile cu progresul actual și cu aplicații tehnologice moderne de top

Planul de dezvoltare al activității de cercetare include cercetări pe următoarele abordări și teme de interes:

- ***Oteluri și materiale feromagnetice, proprietăți elastice și magnetoelastice***

Această tematică a fost abordată de către autor, existând expertiză, și câteva studii publicate în articole din reviste cotate ISI, după cum urmează:

1. N.Cretu, G.Nita-***Transfer coefficient of magnetoelastic materials***, UPB Sci Bull, Series A, Vol 67, No 3-4 factor de impact 0.399
2. N. Cretu, G. Nita, A. Boer- ***ΔE Effect for Polycrystalline Ferromagnetic Rods***, IEEE Trans on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control, 55, No2, 415-420 factor de impact 1.632

3. N. Cretu-**Some considerations on the magnetoacoustic effect of ferromagnetic elastic carbon steel rods**, European NDT Days in Prague, NDT in Progress Proceedings, , 43-50, WOS:000269312200005

- **Preparare, studii și caracterizarea unor materiale ferimagnetice bazate pe sinteza din oxizi de fier și de pământ rar cu aplicații în ultrasonică și microunde**

Tema propusă are la baza preocupări ale autorului publicate în reviste cotate ISI după cum urmează:

1. N. Cretu-**On the Behavior of a Ferrimagnetic Sample in a Microwave Field with Determinate Geometry**, Met. Phys. Adv. Tech. 20(4),10-15, factor de impact 0.109, WOS:000073931200003

- **Materiale compozite, multistrat, proprietăți mecanice, simulări numerice**

Tema propusă are la baza preocupări ale autorului publicate în reviste cotate ISI după cum urmează:

1. N. Cretu, G. Nita- **Pulse propagation in finite elastic inhomogeneous media**, Comp Mat Sci, 31(3-4),329-336, factor de impact 2.131, WOS:000225149000014
2. Cristea D, Crisan A, Cretu N.....-**Structure dependent resistivity and dielectric characteristics of tantalum oxynitride thin films produced by magnetron sputtering**, Appl. Surf. Science 354, 298-305, factor de impact 2.711, WOS:000363673500009
3. Sava F, Lorinczi A, Velea A,Cretu N-**Effect of Thermal Annealing on the Structural and Optical Properties of Ag/Ag₂S₃ Multilayers**, Chalcogenide Letters,10(11),467-471, factor de impact 0.913, WOS:000327192400006

- **Elaborarea și caracterizarea unor materiale cu comportare specifică cristalelor sonice**

În cadrul acestei teme am dezvoltat studii legate de proiectarea unor materiale cu comportare specifică cristalelor sonice, simulări și optimizări în vederea proiectării unor materiale cu comportare specifică, aceste

abordări au fost publicate în reviste cotate ISI sau comunicate la conferințe internaționale de profil, după cum urmează:

1. Crețu N, Pop M- **Acoustic behavior design with simulated annealing**, Comp Mat Sci 44(4),1312-1318, factor de impact 2.131, WOS:000263699600038
2. Crețu N, Pop M, Rosca I.C- **Acoustic design by simulated annealing algorithm**, Physics Procedia 3(1),489-495, WOS:000275913100076
3. N. Crețu, M. Pop, A. Boer-**Quaternion formalism for the intrinsic transfer matrix**, Physics Procedia, 70,262-265, Proceedings of ICU 2015 Conference Metz Franta (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1875389215008913>)
4. Crețu N- **Acoustic measurements and computational results on material specimens with harmonic variation of the cross section**, Ultrasonics 43(7),547-550, factor de impact 2.243, WOS:000230470900007

- **Metamateriale, obținere, studii, proprietăți, caracterizări în microunde.**

Pentru această tematică au existat preocupări incipiente, s-au făcut studii preliminare și a fost depus un proiect PNII care însă nu a fost finanțat.

- **Grafene, studii de obținere, caracterizare, proprietăți**

Pentru această tematică există studii inițiale publicate în: Crețu N, Pop M.- **Higher order statistics in signal processing and nanometric size analysis**, Journal of Optoelectronics and Advanced Materials 10(12), 3292-3299, factor de impact 0.429

- **Ultrasunetele și aplicații ale acestora în procesele de elaborare și testare ale unor materiale metalice**

Studii teoretice și experimentale legate de tehnici de amplificare mecanică a ultrasunetelor au fost comunicate în:

1. Rosca I, Chiriacescu S. T, Crețu N- **Ultrasonic horns optimization**, Physics Procedia 3(1),1033-1040, WOS:000275913100017
2. Rosca I, Pop M, Crețu N- **Experimental and numerical studies on an ultrasonic horn with shape designed with an optimization algorithm**, Applied Acoustics 95, 60-69, factor de impact 1.269 WOS:000353073300008

Metodele și strategiile aferente acestui plan de cercetare sunt:

- *Aprofundarea și extinderea studiilor legate de aplicarea metodei matricii intrinseci de transfer în domeniul caracterizării materialelor*
- *Extinderea metodei matriciale la cazurile 2D și 3D și aplicarea la caracterizarea materialelor elastice.*
- *Achiziționarea unui vibrometru Laser cu posibilitati de detectie a frecvenței modurilor superioare, corelarea cu neomogenitatea și metodele THD*
- *Extinderea aplicării metodelor statistice în analiza de semnal, în vederea caracterizării materialelor și elaborării unor tehnologii NDE sau NDT*
- *Extinderea activitatilor de cercetare și în domeniul proprietatilor electrice ale materialelor folosind și perfecționând baza materiala existentă*
- *Stimularea lucrului în echipă și a cercetării interdisciplinare*
- *Participarea la manifestari internationale de prestigiu în scopul mentinerii conexiunilor cu parteneri și specialiști din alte universitati sau centre de cercetare.*

Participarea la aceste manifestări va fi posibilă prin nivelul științific al cercetării pe care o derulăm. În ceea ce privește Universitatea Transilvania prin colaborările pe care le am mă voi strădui să contribui la aducerea unor conferințe la Brașov unde există o bună infrastructură pentru astfel de manifestări. Există și experiență, eu am făcut parte din unele comitete științifice și de organizare ale unor conferințe de

prestigiu care s-au tinut la Brașov. O listă parțială a unor astfel de manifestări include:

1. Membru în Comitetul Local de Organizare al conferinței internaționale Romanian Conference on Advanced Materials - ROCAM 2009, 25-28 Aug. 2009, Brașov. Romania

2. Membru în Comitetul Local de Organizare al conferinței „14th Conference of Plasma Physics and Applications - 14th CPPA, Brașov 14-18.09.2007,

3. Membru în Comitetul Local de Organizare al Conferinței Internaționale « Advanced Laser Technologies – ALT’06», Brașov, 7-13 Sept. 2006,

4. Membru în Comitetul de Organizare al Conferinței Internaționale “ Third International Conference on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides-ANC-3” Brașov, Iulie 2-6, 2007

5. Membru în Comitetul Științific al Conferinței Naționale “National Conference on Physics”, București, 2005

6. Membru în comitetul Științific al Conferinței Naționale de Fizică, Pitești, 2004

7. Membru în Comitetul Local de Organizare al Conferinței Internaționale “Light at Extreme Intensities- LEI 2009”, Oct. 16 - 21, 2009, Brașov, Romania

8. Membru în Comitetul de Organizare al Conferinței Internaționale “ Third International Conference on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides-ANC-4” Brașov, Iulie, 2009

9. Membru în Comitetul de organizare al International Conference on Amorphous and Nanostructured Chalcogenides ANC-6 6-th Edition, Brașov, iunie 2013

- *Valorificarea rezultatelor cercetărilor prin publicare de lucrări științifice în reviste cu impact semnificativ pentru a mari vizibilitatea studiilor și cercetărilor.*
- *Mentinerea și extinderea colaborărilor cu colegii din NJIT, desfășurarea unor activități de interes care să asigure finanțare și stagii de cercetare în laboratoarele acestora.*

Menționez că există o veche colaborare a mea cu DI Research Professor Gelu Nita și cu coordonatorul grupului din care face parte DI Professor Gary Dale, cu care am avut studii și colaborări în domeniul achizitiei și prelucrării semnalelor, detecția semnalelor tranziente în diagnosticarea comportării unor sisteme metalice elastice, folosirea echipamentelor FPGA, cRIO, achiziție și detecție în timp real folosind tehnici GPU, metode statistice folosite în NDE. Chiar în anul trecut colaborarea noastră s-a materializat prin comunicarea “ Higher Order Statistical Frequency Domain Decomposition for Operational Modal Analysis” autori G. Nita(NJIT USA), M. Mahgoub(NJIT-USA), S. Sharyatpanahi (NJIT-USA), N. Crețu (Univ. Transilvania Romania), T. M. El-Fouly (Qatar University, Qatar) la conferința internațională 7-th International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, Torino Italy , July 1-3.

- *Introducerea unor seminarii științifice în care să se discute etapele și problemele cercetărilor aferente tezelor de doctorat.*
- *Angrenarea doctoranzilor în activități de cercetare susținute, actuale și cu posibile șanse de a castiga proiecte prin competiție.*

În ceea ce privește această componentă foarte importantă care ține de participarea la competiții și depuneri de proiecte, consider că am o bună experiență întrucât am participat și am coordonat proiecte internaționale și naționale , după cum urmează:

1. **Responsabil UTBv-** CIPA-CT094132 COPERNICUS PROJECT-proiect internațional, Director Prof P.P. Delsanto, Politecnico di Torino, Italia-proiect finanțat
2. **Director de proiect** CEEEX- 2-CEX06-11-103 MENELAUS –“Medii neliniare elastice, abordări ultraacustice și simulări computaționale” coordonator UTBv, proiect finanțat

3. **Responsabil Partener UTBv** Proiect CEEC 2CEX06-11-14NANODOPAZ, "Microstructura sistemelor micro si nanometrice de a - Al₂O₃ - ZrO₂ dopate cu pamanturi rare pentru compozite performante (electrolit solid in celule de combustie de temperaturi intermediare - SOFC-IT" Director de proiect Popescu-Pogrion Amelie, INCDFM Bucuresti-Magurele.-proiect finanțat
4. **Responsabil Partener UTBv** Proiect CNCSIS- Dezvoltarea spectroscopiei Mossbauer de suprafață pentru izotopii Sn¹¹⁹ și Eu¹⁵¹- Director de proiect Cerc St I Dr Ing Fiz Bibicu Ion, INCDFM Bucuresti Magurele
5. Propunere ca director de proiect: Proiect PNII, Materiale cu indice de refracție negativ, proiect nefinanțat
6. Propunere ca director de proiect: Proiect PNII-PT-PCCA-Metoda de determinare a constantelor elastice bazata pe proprietățile matricii de transfer, 2013-proiect nefinanțat
7. Propunere ca director de proiect: Proiect PN-II-ID-PCE 2011- Momente statistice de ordin superior și metode statistice aplicate în estimarea fenomenelor tranzitorii-proiect nefinanțat

De asemenea am coordonat si am participat la cercetari aferente unui mare numar de contracte interne cu parteneri industriali.

BII.2 ACTIVITATEA DIDACTICĂ

Obiectivul activității didactice este transferul de cunoștințe noi si utile studenților, astfel încât aceștia să dobândească competențele generale și specifice necesare pe piata muncii și cerințelor actuale ale progresului tehnic industrial.

Consider că un astfel de obiectiv poate fi atins cu ajutorul unui plan de dezvoltare care să conțină următoarele strategii:

- Utilizarea unor metode activ-participative în activitățile didactice care să asigure implicarea studenților în propria formare.
- Introducerea continuă în activitatea de transmitere de cunoștințe a celor mai noi și moderne cunoștințe legate de tehnici și tehnologii
- Folosirea metodelor și tehnicilor didactice care să asigure formarea competențelor vizate de planurile de învățământ
- Implicarea studenților în activități de cercetare compatibile cu nivelul lor științific, îndrumarea acestora în vederea participării la competiții de specialitate: Cercuri științifice sau concursuri organizate de firme de profil.
- Punerea accentului pe activitățile aplicative și în special activitățile de laborator, care dezvoltă competențe practice indispensabile inginerului
- Implicarea studenților în activități de proiectare, care să implice o documentare reală și actuală privind procese tehnologice specifice domeniului ingineriei materialelor.
- Rafinarea cursurilor și planurilor de învățământ pentru a fi cât mai actuale, introducerea de noi discipline compatibile cu specializarea.
- Promovarea celor mai noi descoperiri din domeniu, folosirea tehnicilor moderne de predare și ilustrare a notiunilor introduse.
- Utilizarea unor instrumente diverse și moderne de evaluare a activității studenților (portofolii, referate, proiecte etc)

Consider că abilitarea pentru conducere de doctorat ma va ajuta să îmbin mai bine cele două componente ale activității mele academice, activitatea de cercetare și cea didactică, în beneficiul studenților și al învățământului în general.

BIBLIOGRAFIE

Bibliografie la Capitolul 1

- [1] Robert Oberle and R. C. Cammarata, Acoustic pulse propagation in elastically inhomogeneous media, *J.Acoust.Soc.Am.*94,2947 (1993)
- [2] N.Cretu,P.P.Delsanto,G.Nita,C.Rosca, M.Scalerandi,I.Sturzu-Ultrasonic pulse propagation in inhomogeneous one-dimensional media- *J.Acoust.Soc.Am.*104 (1) (1998) 57-63
- [3] Scalerandi M, Pescarmona G.P., Delsanto P.P., Capogrosso S.B., Local Interaction Simulation Approach for the Reponse of the Vascular System to Metabolic Changes of Cell, *Physical Review E*, 63 (1), 2001, 1-9
- [4] Delsanto P.P., Whitcombe T, Chaskelis H.H., Mignona R. B., Connection machine simulation of ultrasonic wave propagation in materials-the one dimensional case, *Wave Motion*,16 (1),1992, 65-80
- [5] Delsanto P.P., Schechter R.S., Chaskelis H.H., Mignona R. B Kline R., ., Connection machine simulation of ultrasonic wave propagation in materials-the two dimensional case, *Wave Motion*,20 (4)1994, 295-314
- [6] Delsanto P.P., Schechter R.S., Mignona R. B, ., Connection machine simulation of ultrasonic wave propagation in materials-the three- dimensional case, *Wave Motion*,26 (4)1997, 329-339
- [7] Scalerandi M, Cretu N, Chiriacescu S, Sturzu I, Rosca I.C., Method for simulation of Gaussian pulse propagation in an elastic medium with periodical inhomogeneity, *International Conference on Computational Acoustics and its Environmenatal Applications, COMPAC, Proceedings 1997, Pages 161-168, Proceedings of the 2nd International Conference on Computational Acoustics and its Environmental Applications, COMPAC; Acquasparta, Italy; 1 June 1997 through 1 June 1997; Code 46965*

[8] N. Crețu, G. Nita, I. Sturzu, C. Rosca, A semi-analytic method for the study of acoustic pulse propagation in 1-D inhomogeneous elastic media, *Integral Methods in Science and Engineering*, Chapman&Hall/ CRC, ISBN 1-58488-146-1, 2000,107-113

[9] N. Crețu, Some computational studies of the solutions of Mathieu Equation, *Bull. Of the Transilvania University of Brasov*, 2002

Bibliografie la Capitolul 2

[1] N. Crețu, G. Nita, Pulse propagation in finite elastic inhomogeneous media, *Comp. Mat. Sci.* 31,(3-4), 2004, 329-336

[2] N. Crețu, Acoustic measurements and computational results on material specimens with harmonic variation of the cross section, *Ultrasonics*, 43(7), 2005, 547-550

[3] N. Crețu, G. Nita, A. Boer, Delta E effect for polycrystalline ferromagnetic rods, *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, 55,(2), 2008, 415-420

[4] N. Crețu, G. Nita, M. Pop, Wave transmission approach based on modal analysis for embedded mechanical systems, *J. Sound and Vibration*, 332 (20), 2013, 4940-4947

[5] N. Crețu, M. Pop, I. C. Rosca, M. Stanciu, Practical considerations of the matrix method formalism, *Romanian Journal of Acoustics and Vibration*, VII, (2), 2010, 91-94

[6] N. Crețu, M. Pop, Nonlinearity estimation by using the harmonic distortion method of sound waves propagation in a ferromagnetic sample, *SISOM 2007 and Homagial Session of the Commission of Acoustics*, Bucharest 29-31 May, 2002, 287-291

[7] Crețu, N., and G. Nita. "Transfer coefficient of magnetoelastic materials." *University "Politehnica" of Bucharest Scientific Bulletin, Series A: Applied Mathematics and Physics* 67(4), 2005, 193-202.

[8] The estimation of the phase velocity of the elastic waves based on the transfer matrix method for binary systems, Popescu-Pogriion N, Mercioniu I, Crețu N, *Internationa Conference Technical Physics*, 2005, Iasi

Bibliografie la Capitolul 3

- [1] Crețu N, Nita G, A simplified modal analysis based on the properties of the transfer matrix, *Mechanics of Materials*, 60 ,2013, 121-128
- [2] Crețu N, Nita G, Pop M, Wave transmission approach based on the modal analysis for embedded mechanical systems, *Journal of Sound and Vibration*, 332 (20),2013,4940-4947
- [3] Crețu N, Pop M, Rosca C, Eigenvalues and eigenvectors of the transfer matrix, *AIP Conference Proceedings*, 1433, 2012, 535-538 (International Congress on Ultrasonics ICU 2011, Gdansk, Poland, 3-8 September 2011)-oral presentation
- [4] Crețu N, Nita G, Transfer coefficient of magnetoelastic materials, *UPB Scientific Bulletin, Series A Applied Mathematics and Physics*, 87 (4), 2005, 193-202
- [5] Naghdabadi R., Ashrafi M.J., Arghavani J., Experimental and numerical investigation of pulse-shaped split Hopkinson pressure bar test, *Materials Science and Engineering A*, 539, 2012, 285-293

Bibliografie la Capitolul 5

- [1] Crețu N, Pop I M, Acoustic behavior design with simulated annealing, *Computational Materials Science*, 44(4), 2009,1312-1318
- [2] Rosca I, Chiriacescu S. T, Crețu N, Ultrasonic horns optimization , *Physics Procedia*, 3 (1) 2010, 1033-1040
- [3] Crețu N, Pop M I, Rosca I, Acoustic design by simulated annealing algorithm, *Physics Procedia*, 3 (1),2010, 489-495
- [4] I. C.Rosca, Mihail-Ioan Pop, Nicolae Crețu, Experimental and numerical study on an ultrasonic horn with shape designed with an optimization algorithm, *Applied Acoustics*, 95 , 2015, 60-69

[5] Zamfira S, Cretu N, cadareanu R, Pop M.I., Hoffmann C, Optimization design of the acoustical structures, Annals of DAAAMand Proceedings of the International DAAAM Symposium, Vienna, Austria, 2009, 887-88

Bibliografie la Capitolul 6

[1]. **Cretu, N.**, Pop, I.M.-Higher order statistics in signal processing and nanometric size analysis
Journal of Optoelectronics and Advanced Materials, 10 (12), pp. 3292-3299

[2] Cretu N, Some considerations on the magnetoacoustic effect of ferromagnetic elastic carbon steel rods, Proceedings IVth International Workshop of NDT Experts, Prague, 2007, ISBN978-80-214-3505-6, pag.43-51

[3] N. Cretu, G. Nita, A. Boer, Acoustic behaviour of finite ferromagnetic samples, Proceedings of Intenational Congress on Ultrasonics, Viena, April 9-13, Session R21, doi:10.3728/ICUltrasonics.2007.Vienna.1032_cretu

[4] Cretu N, Nita G, Boer A, ΔE Effect for poly cristalline ferromagnetic rods, IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control, 55(2), 2008, 415-420

[5] Cretu N, Nita G, Transfer coefficient of magnetoelastic materials, UPB Sci. Bulletin Series A, 67(4),2005, 193-202

Bibliografie la Capitolul 7

[1] Z. Wesolowski, Wave speeds in periodic elastic layers, *Arch. Mech.* 43 (1991) 271-286.

[2] M.S. Kushwaha, P. Halevi, L. Dobrzynski, B. Djafari-Rouhani, Acoustic band structure of periodic elastic composites, *Phys. Rev. Lett.* 71 (1993) 2022-2025.

[3] M.S. Kushwaha, P. Halevi, G. Martinez, L. Dobrzynski, B. Djafari-Rouhani, Theory of acoustic band structure of periodic elastic composites, *Phys. Rev. B* 49(4) (1994) 2313-2322.

[4] J.O. Vasseur, P.A. Deymier, B. Chenni, B. Djafari-Rouhani, L. Dobrzynski, D. Prevost, Experimental and Theoretical Evidence for the existence of absolute Acoustic Band Gaps in Two-Dimensional Solid Phononic Crystals, *Phys Rev Lett.* 86(14),3012-3015,2001

- [5] N. Crețu, G. Nita, Pulse propagation in finite elastic inhomogeneous media, *Comp. Mat. Sci.* 31(3-4) (2004) 329-336.
- [6] N. Crețu, M.I. Pop, Acoustic behavior design with simulated annealing, *Computational Materials Science* 44(4) (2009) 1312-1318.
- [7] N. Crețu, I.C. Rosca, M.I. Pop, Eigenvalues and eigenvectors of the transfer matrix, *International Congress on Ultrasonics, Gdańsk (2011)*, *AIP Conference Proceedings* 1433(1) (2012) 535-538.
- [8] N. Crețu, G. Nita, A simplified modal analysis based on the properties of the transfer matrix, *Mechanics of Materials* 60 (2013) 121-128.
- [9] N. Crețu, M.I. Pop, A. Boer, Quaternion formalism for the intrinsic transfer matrix, *International Congress on Ultrasonics, Metz (2015)*, *Physics Procedia* (in press).
- [10] M. Özdemir, A.A. Ergin, Rotations with unit timelike quaternions in Minkowski 3-space, *Journal of Geometry and Physics* 56 (2006) 322-336.
- [11] M. Özdemir, The roots of a split quaternion, *Applied Mathematics Letters* 22 (2009) 258-263.

Bibliografie la Capitolul 9

- [1] Nicolae Crețu- A Method for the Estimation of the Magnetization of a Lossless Ferrite in the Microwave Frequency Domain, 6th European Magnetic Materials and Applications Conference, Wien , Austria, September 4-8 1995, Programme, p.278
- [2]. Crețu N-On the behavior of a ferrimagnetic sample in a microwave field with determinate geometry, *Metallofizika I Noveishie Tehnologii* 20(4), 1998, 10-15
- [3] Croitoru C, Patachia S, Crețu N, Boer A, Ftiedrich C- Influence of ionic liquids on the surface properties of poplar veneers, *Applied Surface Science* 257 (14), 2011, 6220-6225
- [4] Mercioniu, Vlaicu, Crețu, Popescu-Pogrion, Simpozionul Societății Americane de Materiale Ceramice, *Advanced Ceramics Daytona,Daytona Beach* 2009

[6] Vlaicu A.M, Mercioniu I, Vasile B.S, Nita P, Popescu-Pogrion N, Structural and chemical properties of cerium-magnetoplumbite in cerium based IT-SOFC compounds, Optoelectronics and Advanced Materials Rapid Communications 5 (2),2011, 143-145

[7] I. Curtu, M. Stanciu, N.Cretu, I. Rosca, Modal analysis of different types of classical guitar bodies, Proceedings of the WSEAS International Conference on Acoustics&Music; Theory and Applications, ISBN: 978-960-474-061-1

[8] M. D. Stanciu, N.Cretu, C. Rosca, I. Curtu, Experimental research on the influence of wood species upon the frequency response of the lignocelluloses plates from the guitar construction, Romanian Journal of Acoustics and Vibrations, V(1), 2008, 3-10