

REZUMAT - TEZĂ DE DOCTORAT

Modelarea și simularea comportării unor materiale reologice cu aplicații la amortizorul magnetoreologic

Autor: ing. Alexandru Perescu

Conducător științific: prof.univ.dr.ing. Liviu Bereteu

Teză susținută public în data de 09.07.2015

Capitolul 1 - Introducere

Teza este structurată în șapte capitole, bibliografie și anexe, care cuprind abordări teoretice, numerice și experimentale pentru fundamentarea unor metode de simulare și analiză ale semnalelor, precum și de identificare a parametrilor unor modele pe baza analizei semnalelor de vibrații. Lucrarea cuprinde o sinteză bibliografică amănunțită, de actualitate, privind proprietățile materialelor existente și al celor în curs de dezvoltare, stadiul actual al cercetării în domeniul fluidelor magnetoreologice, elementele de modelare reologică a corpurilor și clasificarea acestora, definirea și caracterizarea fluidului magnetoreologic și analiza și identificarea elementelor semnalelor.

În Capitolul 1 se prezintă o parte introductivă cu privire la materiale, în care se dă o clasificare a materialelor și a proprietăților acestora, făcându-se referire la materialele magnetoreologice, astfel evidențiindu-se și actualitatea temei abordate. În acest capitol sunt enunțate și obiectivele propuse în acest studiu.

Obiectivele propuse în prezentul studiu

În cadrul acestei lucrări se prezintă, în prima parte, elemente de modelare și de simulare a comportării reologice a corpurilor, dar și a fluidului magnetoreologic. După acestea s-a trecut la testarea la vibrații a amortizorul MR de tip RD-1005/3 și s-au aplicat elemente de analiză și de identificare a parametrilor semnalelor obținute în urma acestor încercări.

Pentru finalizarea cercetării științifice inginerești s-au urmărit următoarele etape:

- Realizarea unei investigații numerice asupra comportării unor corpuri, prin simularea numerică a modelelor reologice și determinarea unor soluții numerice;
- Realizarea unor investigații experimentale bazate pe înregistrarea și prelucrarea semnalelor de vibrații obținute pe două standuri experimentale.

Realizarea cercetării științifice este validă și este ancorată în următoarele obiective specifice acestui studiu:

- Cercetarea bibliografică actuală și riguroasă cu privire la:
 - o Proprietățile materialelor existente și a celor în curs de dezvoltare;
 - o Elementele de modelare reologică a corpurilor și clasificarea lor;
 - o Stadiul actual al cercetării în domeniul fluidelor MR;
 - o Analiza și identificarea elementelor semnalelor achiziționate.

- Simularea comportamentului unor modele reologice cu aplicația Simulink;
- Validarea rezultatelor obținute prin simulare cu teoria clasică;
- Adaptarea unui stand experimental și realizarea unui nou pentru efectuarea măsurătorilor de vibrații pentru amortizorul MR de tip RD-1005-3;
- Realizarea de teste, pe cele două standuri experimentale a amortizorului MR de tip RD-1005-3;
- Identificarea parametrilor amortizorului și a modelelor matematice, care îl descriu, pe baza prelucrării semnalelor de vibrații obținute prin măsurători experimentale;
- Prezentarea contribuțiilor personale și a impactului pe care acest studiu îl poate avea asupra unor aplicații din industrie.

Capitolul 2 – Elemente de modelare reologică a corpurilor

În Capitolul 2 sunt definite reologia, funcțiile de fluaj și de relaxare a solicitării, curba de revenire, curba deformație-tensiune și sunt prezentate tipurile de corpuri analizate și în teoria elasticității. În esență sunt prezentate elemente generale de modelare reologică a corpurilor.

Reologia oferă științelor teoretice adiacente modele și preia de la acestea rezultatele cercetărilor pe care le utilizează pentru conceperea unor tehnici experimentale cu ajutorul cărora se măsoară coeficienții de material care afectează modelele. Rezultatele experimentale servesc în același timp și la verificarea modelelor sau la deducerea acestora.

O definiție a reologiei, foarte des utilizată în inginerie, este: știința care studiază comportarea materialelor folosind "ecuații constitutive" între tensiuni și deformații.

Cea mai simplă experiență pentru punerea în evidență a proprietăților unui corp este încercarea la tracțiune a unei epruvete. Dacă se aplică o tensiune σ crescătoare, după o anumită lege și se măsoară deformațiile specifice ϵ rezultate, se va putea trasa o curbă de variație tensiune-deformație cu tensiunea impusă, numită *diagramă de încărcare*. În mod asemănător se obține *diagrama de descărcare*, dacă tensiunea scade după o anumită lege. Dacă ϵ variază (crescător sau descrescător) cu timpul după o anumită lege, atunci se obține *diagrama tensiune-deformație*, cu deformație impusă. Dacă diagrama de încărcare și descărcare este o dreaptă unică, atunci corpul se numește corp perfect elastic sau corp elastic liniar. În cazul în care diagrama de încărcare nu se suprapune peste diagrama de descărcare, corpul are o comportare histeretică.

În funcție de starea finală a deformației se pot defini următoarele tipuri de comportare mecanică a corpurilor:

- Corp perfect elastic
- Corp vâscoelastic
- Corp vâscoelastoplastic
- Corp elastoplastic
- Corp plastic

Funcția de fluaj și funcția de relaxare

O experiență de fluaj constă în menținerea sub sarcină constantă σ_0 a unui corp, un timp îndelungat, urmărindu-se variația deformației corpului în funcție de timp. Dacă se constată că deformația corpului solicitat este în funcție de timp, atunci se spune că a apărut un fenomen de fluaj.

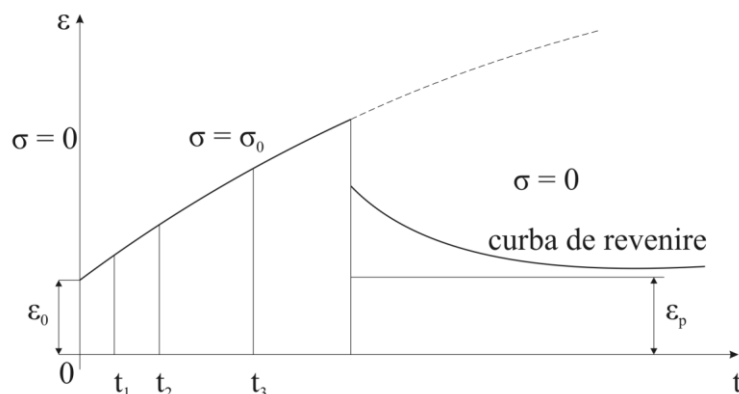


Fig. 2.1 - Diagrama de fluaj și curba de revenire

Curba care reprezintă variația lui ϵ în funcție de σ_0 se numește curba deformație-tensiune și este diferită de curba tensiune-deformație (Figura 2.2).

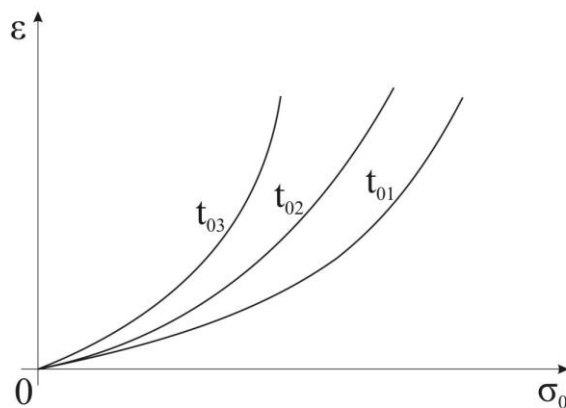


Fig. 2.2 - Diagrama deformație-tensiune

Capitolul 3 - Simularea modelelor reologice

Capitolul 3 vine în completarea capitolului anterior și pune accent pe simularea numerică a comportamentului reologic (funcțiile de fluaj și de relaxare ale solicitării) a câtorva modele reologice fundamentale ale unor corpuri vâscoelastice și anume: modelul Kelvin-Voigt, modelul Maxwell, modelul Zener, modelul Burgers și modelul Lethersich.

Pentru crearea unui model, se urmăresc definirea modelului și analiza acestuia. Modelarea în vederea simulării în aplicația Simulink constă în selectarea unor blocuri logice și conectarea acestora conform ecuațiilor matematice specifice modelului propus sau analizat.

Parametrii unei simulări se pot configura foarte ușor din meniul aplicației. Pentru rularea unei simulări pe PC, trebuie aleasă o tehnică numerică de rezolvare a ecuațiilor diferențiale.

În acest capitol a fost simulat comportamentul vâscoelastic al unor modele reologice, și anume: modelul Kelvin-Voigt, modelul Maxwell, modelul Zener, modelul Bürgers și modelul Lethersich.

Curbele obținute prin simulare au fost comparate cu cele obținute prin teoria clasică, observându-se că cele provenite din simulare sunt de o mai mare acuratețe.

Capitolul 4 - Modelarea și simularea comportării fluidului magnetoreologic

Materialele magnetoreologice (MR) au fost studiate intens mai mult de jumătate de secol, de la mijlocul secolului 20, de când Rabinow, (1948) a descoperit fluidele MR care aparțin unei anumite clase, numite clasa materialelor inteligente. Proprietățile reologice ale acestora pot fi controlate printr-un câmp magnetic extern.

Fluidele MR, raportate prima dată de către Rabinow în 1948, prezintă o schimbare continuă, rapidă și reversibilă a caracteristicilor reologice atunci când sunt supuse la câmpuri magnetice exterioare suficient de puternice. Caracteristica esențială a acestor fluide este capacitatea lor de a schimba în mod reversibil lichidul liniar vâscos care curge liber într-un semi-solid, datorită creșterii vâscozității aparente, care are elasticitate controlabilă în câteva milisecunde atunci când este expus unui câmp magnetic.

Fluidul MR este un tip de material inteligent cu particule magnetice moi de dimensiuni micronice ($\sim 1-100 \mu\text{m}$) suspendate într-un fluid hidraulic sau ulei silionic de transport. Proprietățile reologice ale fluidelor MR, cum ar fi efectul de curgere și vâscozitatea aparentă, pot fi controlate rapid și continuu prin variația câmpului magnetic aplicat [50], [51].

Când acest lichid este supus unui câmp magnetic, particulele de fier se comportă ca dipolii unui magnet și începe alinierea lor de-a lungul fluxului constant, prezentat în Figura 4.50. Când fluidul este cuprins între dipolii magnetului, mișcarea acestuia este limitată de către lanțurile de particule, crescând astfel vâscozitatea aparentă. Astfel, acesta își schimbă starea din lichid în solid vâscoelastic.

În acest capitol s-a realizat simularea comportamentului vâscoelastic caracteristic fluidelor MR pentru următoarele modele reologice: modelul Bingham, modelul Bouc-Wen și modelul Spencer. În digramele ultimelor două modele se poate observa bucla de histereză caracteristică acestor modele.

Capitolul 5 - Elemente de analiză și de identificare a semnalelor

Identificarea sistemelor este o ramură a teoriei sistemelor și are scopul de a stabili metodologii pentru estimarea cât mai fidelă a modelelor matematice care descriu sistemele reale pe baza studiului experimental al acestora. Astfel știința identificării

sistemelor este deosebit de importantă pentru toate ramurile științei care se bazează pe elaborarea modelelor matematice pentru fenomenele cercetate.

Există mai multe metode de transformare a semnalelor. În acest capitol se face referire la transformata Fourier, la transformata wavelet și la metoda funcției de corelație. Ulterior s-a făcut o prezentare a analizei wavelet multirezoluție cu ajutorul căreia am efectuat ulterior identificarea parametrilor amortizorului MR testat.

Capitolul 6 – Rezultate și prelucrări experimentale

Măsurătorile experimentale au fost efectuate pe două standuri experimentale:

- Standul experimental cu ciocan pendul de tip Charpy modificat pentru amortizorul MR testat – Figura 6.3;
- Standul experimental cu excitare cinematică cu deplasare verticală – Figura 6.4.

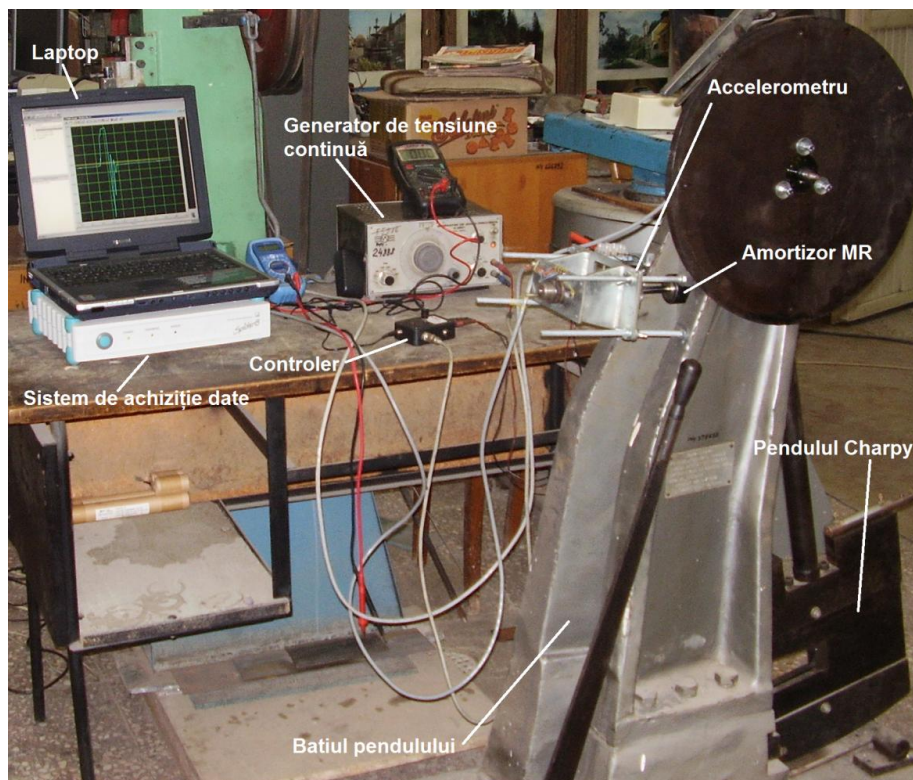


Fig 6.3 – Standul experimental cu pendul Charpy

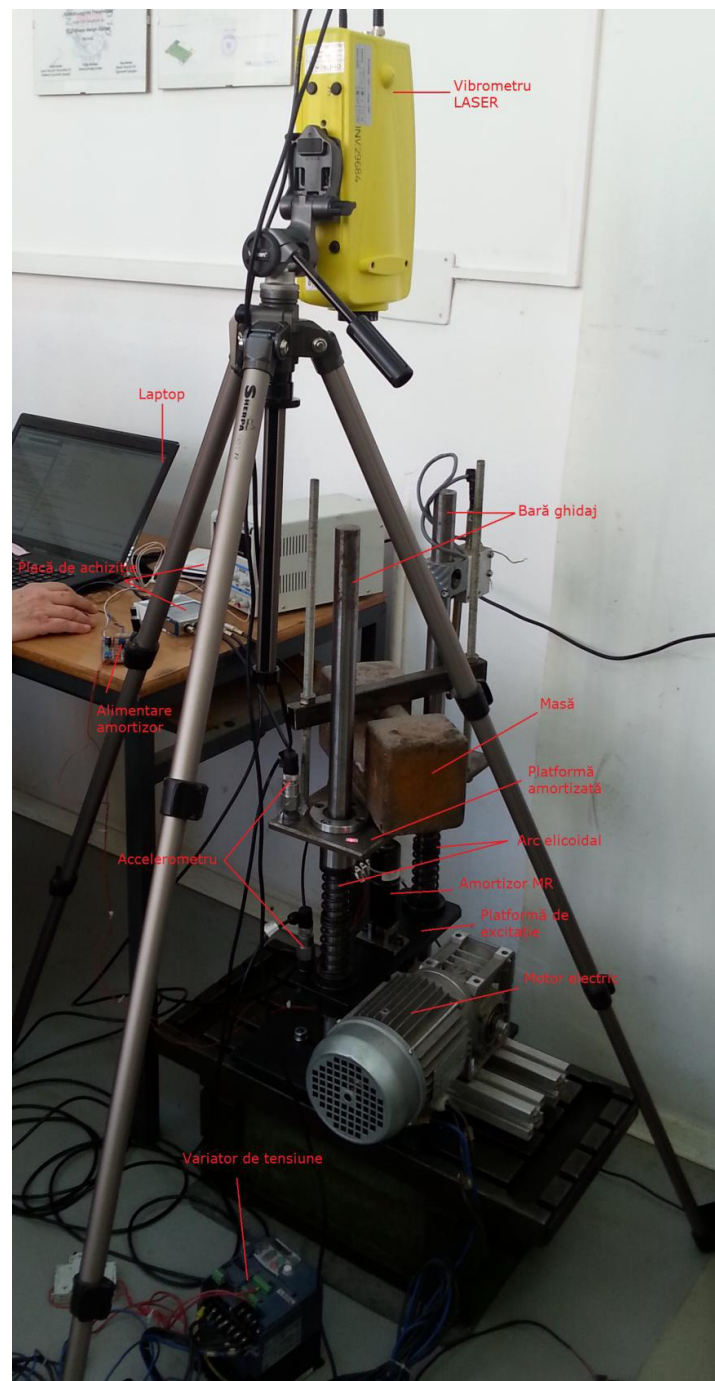


Figura 6.3 - Standul experimental cu deplasare verticală pentru amortizorul cu lichid MR

În vederea identificării parametrilor amortizorului MR testat am utilizat standul experimental de tip ciocan Charpy. Am înregistrat semnalele de vibrații libere mici pentru diferite tensiuni de alimentare, U , a bobinei de magnetizare din interiorul amortizorului MR.

Folosind metoda de analiză wavelet multirezoluție am stabilit parametrii corespunzători următoarelor modele: modelul Bouc-Wen neliniar, modelul Bouc-Wen liniar și modelul Bouc-Wen cu neliniaritate pătratică.

După aplicarea metodei analizei wavelet pentru modelele luate în considerare, au rezultat parametrii k și c . Unde k este constanta elastică a amortizorului MR și c este coeficientul de amortizare al acestuia.

După încercările modelelor teoretice s-au obținut și rezultate negative pentru coeficientul de amortizare, c , cât și pentru coeficientul elastic, k , rezultând o mișcare instabilă a amortizorului, în contradicție cu rezultatele experimentale. Așadar amortizorul MR analizat nu are un comportament caracteristic modelului matematic Bouc-Wen neliniar.

Prin urmare, comportamentul amortizorului magnetoreologic testat poate fi modelat după modele matematice Bouc-Wen liniar cu frecare uscată și Bouc-Wen cu neliniaritate pătrată.

Capitolul 7 - Concluzii și contribuții personale

Lucrarea este dedicată unei tematici de actualitate și de mare importanță științifică, înscriindu-se în problematica comportării și simulării fluidului magnetoreologic într-un amortizor de vibrații, cu aplicabilitate în domeniul autovehiculelor. Prelucrarea semnalelor de vibrații cu ajutorul metodelor moderne de analiză a semnalelor, având drept scop determinarea coeficientului de amortizare și a forței de revenire, reprezintă o nouă abordare în acest domeniu.

Concluzii

Diagramele de fluaj și de relaxare pentru diferite modele de corpuri reologice se obțin instantaneu, putându-se urmări cu ajutorul osciloscopului, diferite alte mărimi rezultate prin integrare, derivare sau multiplicare, iar valorile numerice se pot exporta sub forma unor fișiere de tip .mat.

Modelarea și simularea comportării fluidelor magnetoreologice a fost un alt obiectiv specific al acestei lucrări. Comportarea liniară sau neliniară a acestor lichide poate fi vizualizată în mediul Simulink.

Determinarea parametrilor ce caracterizează diferite ecuații diferențiale ce guvernează modelele prin care sunt reprezentate lichidele magnetoreologice a constituit de asemenea un obiectiv specific al acestei lucrări.

Utilizarea unor tehnici moderne de analiză a semnalelor reprezintă de asemenea un obiectiv al acestei teze.

Pentru achiziția semnalelor de vibrații au fost concepute standuri experimentale și realizate lanțuri de măsură.

Prelucrarea semnalelor achiziționate pe cale experimentală a constituit un alt obiectiv principal al acestei lucrări.

Utilizarea și realizarea unor softuri/coduri dedicate analizei de semnale (FFT sau Transformata Wavelet) și utile în determinarea parametrilor fizici ai modelelor reologice a constituit poate cel mai important obiectiv al tezei.

Contribuții personale

- Realizarea unui studiu bibliografic a 116 referințe cu privire la:
 - Proprietățile materialelor existente și în curs de dezvoltare;
 - Stadiul actual al cercetării în domeniul fluidelor magnetoreologice;
 - Elemente de modelare reologică a corpurilor și clasificarea acestora;
 - Definirea și caracterizarea fluidului magnetoreologic;
 - Analiza și identificarea elementelor semnalelor.

- Realizarea modelelor reologice în aplicația Simulink, cu ajutorul blocurilor aplicației, respectând ecuațiile caracteristice fiecărui model în parte și simularea comportamentului reologic al acestora evidențiindu-se curbele de fluaj și de relaxare a solicitării.
- Analizarea curbelor caracteristice de fluaj și de relaxare obținute prin simulare, în comparație cu cele obținute pe cale analitică în teoria cunoscută.
- Adaptarea standului experimental ciocan pendul de tip Charpy pentru testarea amortizorului MR de tip RD -1005/3, fabricat de LORD Corporation.
- Achiziția semnalelor cu ajutorul unor accelerometre, precum și prelucrarea acestora.
- Realizarea standului experimental cu excitație pe cale cinematică antrenat de un motor electric cu excentric controlat printr-un variator de tensiune.
- Achiziția semnalelor cu ajutorul accelerometrelor și a vibrometrului laser, printr-un program realizat în MATLAB, precum și prelucrarea acestora.
- Identificarea parametrilor prin analiza semnalelor de vibrații cu transformata wavelet, metoda forței de revenire și metoda Corelației.

Rezultatele cercetării sunt publicate sau în curs de publicare în volumele unor manifestări științifice indexate ISI Proceedings în trei lucrări în unele reviste de specialitate indexate BDI în două lucrări incluse în categoria B și în volumele unor manifestări științifice internaționale de tip Proceedings în două articole.

Lucrări publicate

- [1] Perescu, A., Bereteu, L., *Simulation and comparison of quarter-car passive suspension system with Bingham and Bouc-Wen MR semi-active suspension models*. AIP Conference Proceedings, 2013. 1564(22): p. 22-27.
- [2] Perescu, A., Bereteu, L., Simoiu, D., Nyaguly, E., *Nondestructive method for the determination of the elastic properties of welded aluminium plates*. Advanced Materials Research, 2015. 1111: p. 73-78.
- [3] Perescu, A., Suciu, O., Neamtu, A., Neş, C., Bereteu, L., *Viscoelastic behavior simulation of cortical bone tissue using Burgers rheological model*. Applied Mechanics and Materials - **în curs de publicare**
- [4] Perescu, A., *Quarter car suspension with 1-DOF simulated using Simulink*. Sci. Bulletin of the Politeh. Univ. of Timisoara - Trans. on Mech., 2011. 56(2): p. 65-68.
- [5] Bereteu, L., Perescu, A., *Quarter car suspension system with one degree of freedom simulated using Simulink*. The Annals of the West Univ. of Timiosara - Physics Series, 2012. 56: p. 88-93.
- [6] Perescu, A., Bereteu, L., *Analysis of quarter passive suspension system with 1-DOF and 2-DOF using Simulink*. Proc. ModTech Int. Conf., 2012. 2: p.729-732.
- [7] Perescu, A., Bereteu, L., *Analysis of quarter passive suspension system using Simulink*. Proc. ModTech Int. Conf., 2012. 2: p. 733-736.