

# TRANSIENT ANALYSIS OF A SPRING APPLIED BREAK DEPLOYED IN AC SERVOMOTORS

DUMA Vasile Cristian<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultatea: Inginerie Industrială și Robotică, Specializarea: Robotică, Anul de studii: II, e-mail: vasile.duma@stud.fiir.upb.ro

Conducător științific: As. Drd. Ing. Tudor George ALEXANDRU

*REZUMAT: Spring applied breaks represent safety element that are deployed in mechatronics and robotics to ensure that the output shaft of a servomotor remains at a fixed position during special operational conditions. The present paper proposes a modeling and simulation approach for capturing the underlying structural characteristics of such assemblies, with the support of computer aided software. The design in discussion is inspired from an AC servomotor. AutoCAD 3D is used for representing each individual component as a solid structure. The complete assembly and pre-processing of the model for transient simulations is carried out with the support of ANSYS Workbench suite. The non-linear behavior of the breaking phenomenon is captured by deploying frictional contacts. Joints are added to materialize and constrain the motion of the moving elements. The results achieved are the total deformation and the Equivalent Von-Mises stress.*

*CUVINTE CHEIE: spring applied break, 3D modelling, contact, joints, transient structural analysis.*

## 1. Introducere

În cadrul acționărilor electrice pentru mecatronică și robotică, frânele electromagnetice reprezintă elemente de siguranță care asigură blocarea arborelui motor la punct fix în situații precum oprirea de urgență sau lipsa de furnizare a energiei electrice la sistemele de comandă control. În componența lor se pot distinge două subsisteme majore, cel electromagnetic responsabil cu generarea unor forțe de atracție care mențin frâna pe poziție liberă și cel mecanic care asigură blocarea arborelui motor prin generarea unui cuplu de frecare atunci când subsistemul electromagnetic nu este alimentat. Proiectarea unor astfel de soluții aduce de la sine particularități constructiv funcționale, ținând cont de interdisciplinaritatea care guvernează fenomenele care implică frecare. Din acest punct de vedere, teoriile din manualele de proiectare pentru organe de mașini sunt limitate la aplicarea unor ipoteze simplificatoare. În ultimii 20 de ani, ingineria asistată de calculator a devenit cel mai răspândit instrument pentru simularea unor repere în condiții de exploatare utilizând programe de calculator. Scopul analizelor este acela de a îmbunătăți concepția produselor sau de a verifica criteriile tehnico-economice impuse. La baza unor astfel de programe se află metoda elementelor finite, o abordare numerică care presupune aproximarea unei geometrii printr-un număr mare dar finit de elemente care divizează domeniul continuu prin domenii discrete. Prin rezolvarea unor ecuații care descriu starea de echilibru locală se poate face trecerea la starea de echilibru globală a sistemului.

## 2. Stadiul actual

Abordări privind simularea interdisciplinară a frânelor electromagnetice sunt răspândite în literatura de specialitate, accentul fiind pus preponderent pe evaluarea caracteristicilor electromagnetice și termice. Analize interdisciplinare pentru evaluarea constantelor elastice și studiul distribuției câmpului

magnetic și termic pe baza energiei disipate de bobine sunt prezentate în [1]. O altă abordare privind optimizarea caracteristicilor de frânare prin cuplarea analizelor electromagnetice – termic este prezentată în [2]. Surpindierea fenomenelor de frecare la nivelul interacțiunii dintre mai multe corpuri pe baza analizelor structurale în regim tranzitoriu este prezentată în [3,4].

Lucrarea de față propune o abordare privind simularea în regim tranzitoriu a unei frâne electromagnetice din cadrul unui servomotor de curent alternativ. Prima etapă o constituie definirea geometriei. Aceasta este modelată în cadrul programelor de proiectare, fiind importată în mediul de inginerie asistată în vederea simplificării ei prin eliminarea organelor de asamblare, a razelor de racordare și ale altor elemente geometrice de dimensiuni reduse. Discretizarea se realizează cu elemente de tip hexaedru pentru solide și patrulater pentru suprafețe. Acestea asigură un timp redus pentru soluționare și o bună calitate a rezultatelor. La nivel de ansamblu, interacțiunea dintre componente este materializată prin intermediul elementelor de contact, cinematice și elastice. Tipul simulării realizate este analiza structurală în regim tranzitoriu. Pe baza unei ciclograme de mișcare, timpul total este divizat în sub-pași. Rezultatele obținute sunt deplasări și tensiuni echivalente. Prin evaluarea curbei de evoluție a acestor caracteristici în raport cu timpul, se poate surprinde momentul în care se produce blocarea arborelui motor. Timpul de răspuns poate fi cuantificat pe baza incrementului temporar dintre valorile de minim și maxim.

### 3. Proiectarea ansamblului

În vederea proiectării ansamblului, au fost utilizate mai multe surse de documentare tehnică [5,6], dimensiunile modelului fiind raportate la cotele de gabarit ale unui servomotor de curent alternativ utilizat în cadrul acționărilor electrice pentru mecatronică și robotică.

Pentru reprezentarea tridimensională a ansamblului a fost utilizată aplicația AutoCAD. Componentele care compun modelul fiind:

- **Armătură:** partea fixă care se assemblează pe motor;
- **Bobina:** generează un câmp electromagnetic și atrage placa de presiune;
- **Arcuri:** mențin tensionată placa de presiune când bobina nu este alimentată;
- **Placă de presiune:** se află în deplasare axială, asigură presarea elementelor de fricțiune a discului de frână și blocarea arborelui motor;
- **Coroană dințată:** ghidează placa de presiune și preia cuplul generat de arborele motor;
- **Placă superioară:** este menținută fixă și asigură generarea frecării la nivelul discului de frână;

Detalii privind modelul geometric și o vedere explodată a acestuia pot fi surprinse în figura 1.

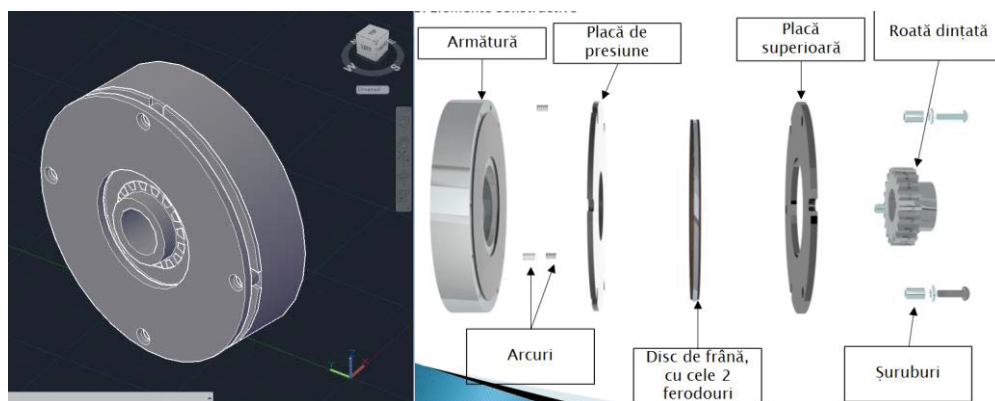


Fig. 1. Modelul geometric AutoCAD 3D și o vedere explodată a elementelor componente

### 3. Definirea condițiilor de simulare

Pentru realizarea modelului de simulare au fost considerate următoarele date de intrare:

- a) **Ciclograma de mișcare:** rotorul execută un ciclu de rotație constantă, având un timp de accelerare de 0.23 secunde și un timp total de 2 secunde. A fost ales un interval scurt pentru ciclul de funcționare pentru a reduce durata de rulare a simulărilor, având în vedere gradul mare de neliniaritate al modelului (vezi figura 2).

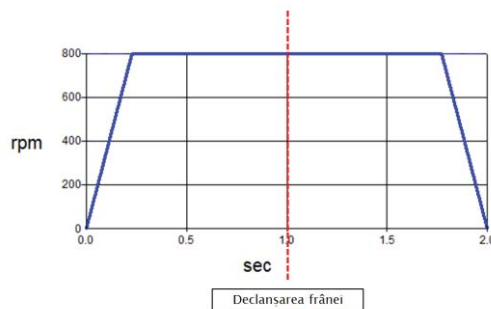


Fig. 2 Ciclograma de mișcare cu evidențierea momentului producerii frânării

- b) **Interacțiunile de la nivel de ansamblu:** Contacte cu frecare pentru zonele de interacțiune dintre ferodouri și placa de presiune, respectiv placa superioară; Contacte fără frecare pentru interacțiunea dintre discul de frână și coroana dințată; Elemente de tip arc pentru tensionarea plăcii de presiune; Cuple cinematice pentru rotirea arborelui motor și translatarea plăcii de presiune (vezi figura 3).

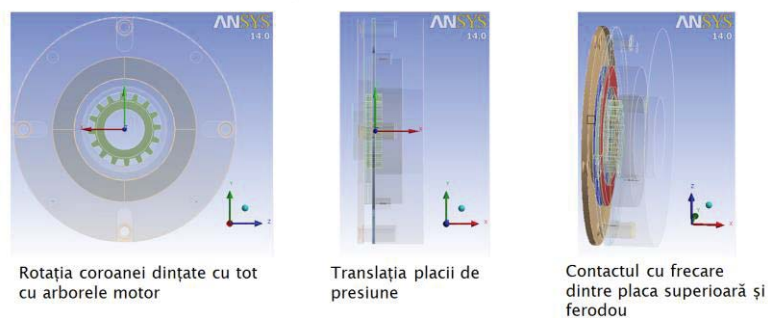


Fig. 3 Tipuri și exemple de contacte definite în simulare

- c) **Momente de inerție:** nu se consideră decât inerția generată de arborele motor la mersul în gol al acestuia.

Discretizarea a fost realizată cu o dimensiune uniformă, accentul fiind pus pe surprinderea zonelor de interacțiune dintre ferodouri și placa de presiune respectiv placa superioară. În figura 4 este prezentat gradul de distorsionare al elementelor alături de câteva detalii privind distribuția acestora pe structură.

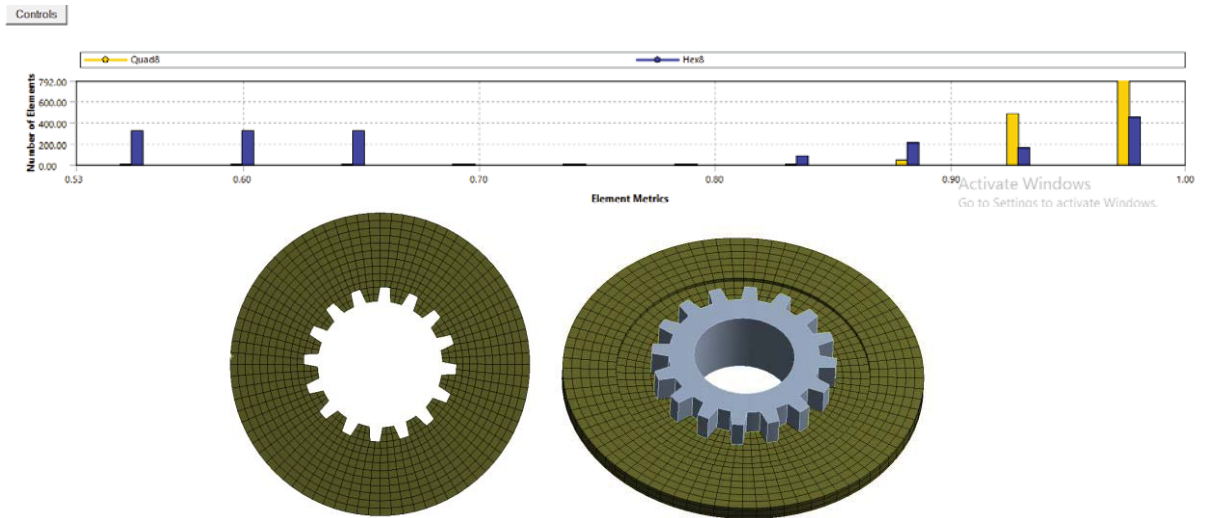


Fig. 4 Reprezentarea grafică a gradului de distorsionare al elementelor și detalii privind geometria discretizată

#### 4. Rezultate obținute

În analizele structurale în regim tranzitoriu, timpul total de simulare este divizat în pași, procesul de rezolvare fiind realizat pe baza metodei Newton Raphson. Convergența unei astfel de analize poate fi evidențiată pe baza echilibrării energiilor din sistem după fiecare iterație. Analog cu rezistența materialelor, atunci când suma de forțe este zero, se obține convergența iar atunci când se obțin variații abrupte ale forțelor apar bisecții. În graficul din figura 5, se observă existența mai multor astfel de situații. Cu toate acestea, menținerea permanentă a convergenței forțelor (Force Convergence) sub criteriul impus (Force Criterion) și tendința rezidualelor de a varia în raport cu ciclograma aplicată asigură relevanța rezultatelor obținute.

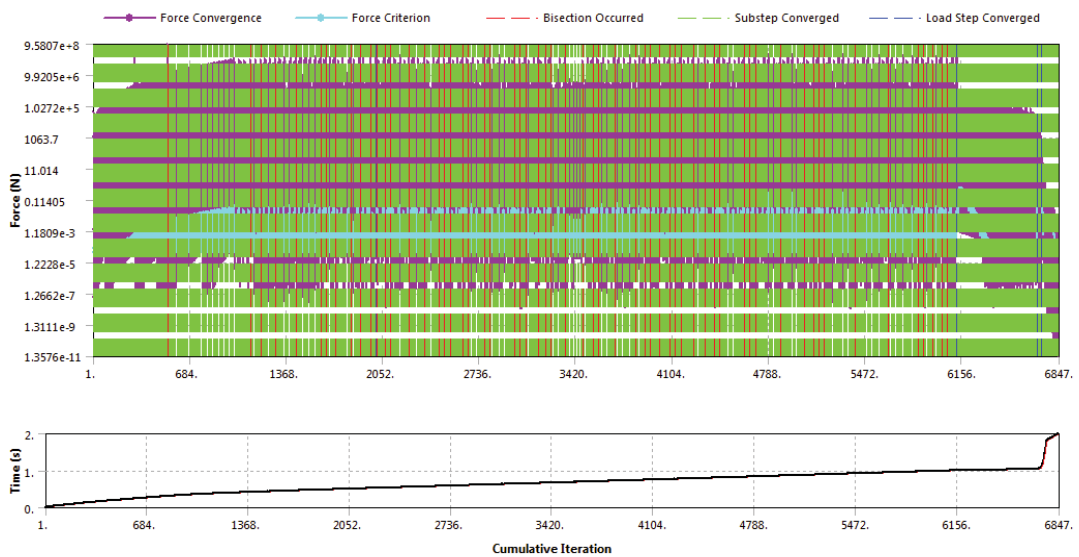


Fig. 5 Graficul de convergență a forțelor cu evidențierea bisecțiilor

Acest fapt poate fi evidențiat și prin graficul deplasărilor unde se pot distinge intervalele de accelerare și de mers în gol, existând o variație a valorilor în momentul producerii frânării. În primul interval de timp cuprins între 0 și 0.23 de secunde se observă accelerarea arborelui motor de la viteza de 0 la 800 RPM. Următorul interval cuprins între 0.23 și 1 secundă reprezintă mersul în gol. În această fază energiile din sistem sunt reduse deoarece accelerația devine 0. Ultimul interval cuprins între secunda 1 și 1.007 secunde surprinde frânarea. Aceasta nu se produce instantaneu cu blocarea discului de frână ci considerând un timp de răspuns. După secunda 1.007 deplasarea devine 0, arborele motor fiind oprit la punct fix (vezi figura 6).

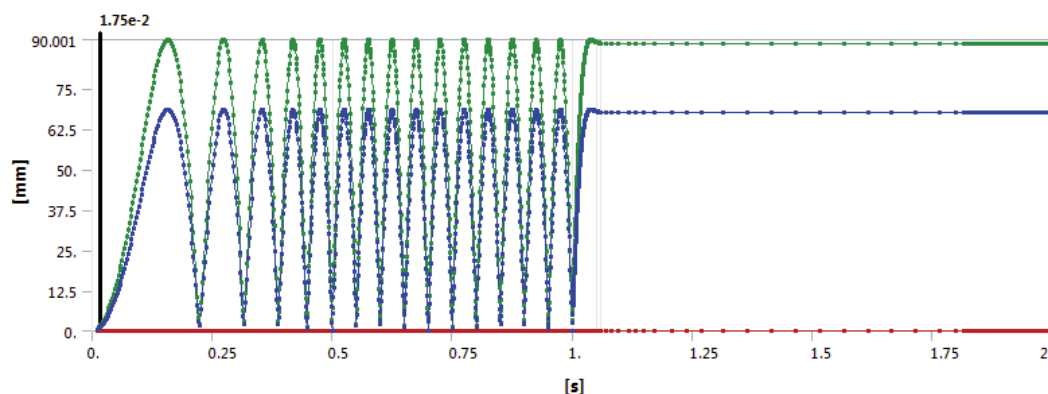


Fig. 6 Deplasarea unui punct de pe discul de frână, graficul surprinde accelerarea, mersul în gol și frânarea

Tensiunile echivalente obținute se pot interpreta pe baza accelerațiilor generate în sistem. Valoarea de maxim este atribuită blocării arborelui motor, viteza unghiulară devenind zero într-un interval de timp foarte scurt. A doua zonă de variație a tensiunilor din grafic apare datorită energiilor generate de momentul de torsiune produs (vezi figura 7).

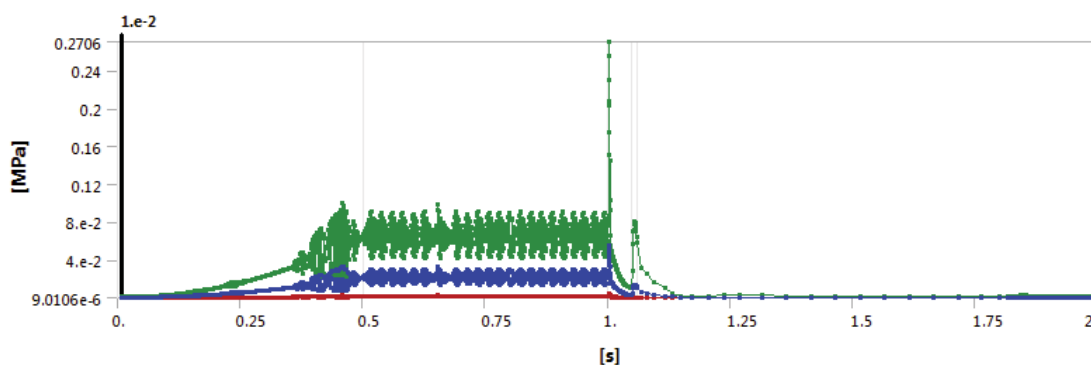


Fig. 7 Variația tensiunilor în timp, se surprinde momentul producerii frânării

În figura 8 sunt prezentate valorile maxime ale tensiunii care se obțin la scurt timp după acționarea frânei, fiind distriuite în zona cu minim de material (în zona de tranziție dintre ferodou și placa de prindere a discului de frână). Se observă cum valoarea de maxim este uniform distribuită pe întreaga circumferință a discului. Tensiunea calculată nu pune în pericol integritatea structurii, ținând cont de ordinul redus al mărimii.

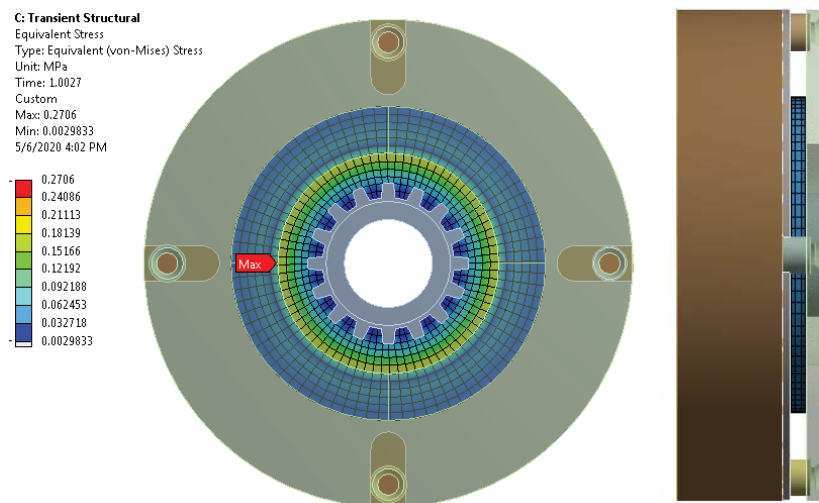


Fig. 8 Variația tensiunilor în timp, se surprinde momentul producerii frânării

## 6. Concluzii

Analiza în regim tranzitoriu a frânelor electromagnetice reprezintă o etapă importantă în proiectarea acestora considerând abilitățile programelor de analiză de a surprinde variația fenomenelor neliniare în raport cu timpul. În acest fel, modelul poate fi utilizat mai departe pentru studii de optimizare (cum ar fi înlocuirea materialelor de fricțiune).

## 8. Bibliografie

- [1]. Yasa, Y., Sincar, E., Ertugrul, B. T., și Mese, E. (2016). "A multidisciplinary design approach for electromagnetic brakes." *Electric Power Systems Research*, 14(1), 165-178.
- [2]. Chen, B., Wu, J., Shen, M., și Sun, Q. (2018). „Design Optimization of Friction Disc-Based Electromagnetic Brakes for Higher Braking Torque”, In 2018 21st International Conference on Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2675-2679.
- [3]. Babukanth, G., și Teja, M. V. (2012). "Transient analysis of disk brake by using ansys software", *International Journal of Mechanical and Industrial Engineering (IJMIE)*, 2(1), 21-25.
- [4]. Belhocine, A., și Bouchetara, M. (2012). "Simulation of fully coupled thermomechanical analysis of disc brake rotor", *Wseas Transactions on Applied and Theoretical Mechanics*, 7(3), 169-181.
- [5]. Waters, P. E., Vaughan, D. S., și Mustico Jr, C. J. (1984). U.S. Patent No. 4,445,596. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [6]. Fey, R., și Dumbser, G. (1987). U.S. Patent No. 4,713,567. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.