

SINCRONIZAREA SIMULĂRILOR DE DINAMICA SOLIDULUI RIGID CU ANALIZĂ STATICĂ ȘI ÎN REGIM TRANZITORIU PENTRU STRUCTURI DE ROBOȚI

BOȚU Claudiu George¹, FRANGU Vlad² și TURCU Teodor³

Conducător științific: Prof. dr. ing. **Cristina PUPĂZĂ**, Prof. dr. ing. **Adrian NICOLESCU**

Robotul industrial reprezintă un sistem fizic, programabil, ce este capabil să realizeze diferite operații și secvențe de operații de manipulare a unor scule, piese sau subansamble.

Pentru a proiecta un robot industrial cu sarcină portantă mare, trebuie testată și evaluată structura de ansamblu. Procedura de testare și evaluare poate fi urmată după ce configurarea componentelor a fost realizată din analiza cinematică și dinamică a structurii robotizate.

Acest material prezintă metodologia și rezultatele unui studiu cinematic, static, și tranzitoriu a trei roboți cu 6 grade de libertate de rotație, cu programul ANSYS 16.1, folosind interfața grafică Workbench. Modulele folosite sunt: Rigid Dynamics pentru analiza cinematică, Transient Structural pentru analiza tranzitorie și Static Structural pentru analiza statică.

CUVINTE CHEIE: robot industrial, analiza, cinematica, tranzitorie, statica

1 INTRODUCERE

Analiza cinematică în ANSYS (modulul Rigid Dynamics) este folosită pentru stabilirea solicitărilor în cuplurile cinematice. Este o analiză recomandată pentru roboți, precede orice analiză statică sau dinamică și dispune de un solver dedicat: ANSYS Rigid Dynamics solver. Deoarece în industrie acest tip de analiză se face cu programul ADAMS, ANSYS are funcționalități extinse pentru conexiunea cu acest program.

Analiza tranzitorie este răspunsul dinamic al structurii la o forță variabilă în timp (răspuns în timp). Pentru acest tip de analiză este important efectul inerției și al amortizării.

Structurile de roboți pe care s-a lucrat sunt următoarele : ABB IRB 6620, ABB IRB 7600 340/2.8, KUKA KR 16-3.

Tabelul 1. Specificații tehnice roboți

Model Robot	ABB IRB 6620	ABB IRB 7600 340/2.8	KUKA KR 16-3
Sarcina portantă maxima	150 [kg]	340 [kg]	16 [kg]
Dimensiune spatiu de lucru	2.2 [m]	2.8 [m]	1.6
Repetabilitate	0.03 [mm]	0.12 [mm]	±0.05 [mm]
Nr. Axe	6	6	6
Greutate RI	900 [kg]	2425 [kg]	235 [kg]
Viteza de deplasare maxima			
Axa 1	100 %/s	75 %/s	156 %/s
Axa 2	90 %/s	60 %/s	156 %/s
Axa 3	90 %/s	60 %/s	156 %/s
Axa 4	150 %/s	100 %/s	330 %/s

Axa 5	120 %/s	100 %/s	330 %/s
Axa 6	190 %/s	160 %/s	615 %/s
Limitele de deplasare pe fiecare axa			
Axa 1	+170 ° / - 170 °	+180 ° / - 180 °	±145 °
Axa 2	+140 ° / -65 °	+85 ° / -60 °	+35 ° / - 155 °
Axa 3	+70 ° / - 180 °	+60 ° / - 180 °	+154 ° / - 130 °
Axa 4	+300 ° / - 300 °	+300 ° / - 300 °	±350 °
Axa 5	+130 ° / - 130 °	+100 ° / - 100 °	±130 °
Axa 6	+300 ° / - 300 °	+360 ° / - 360 °	±350 °

În continuare este prezentat spațiul de lucru pentru fiecare robot în parte.

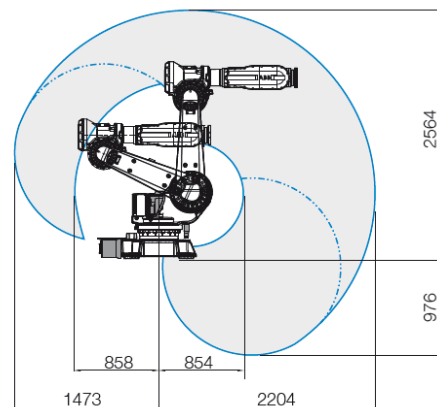


Fig.1. Spațiul de lucru ABB IRB 6620

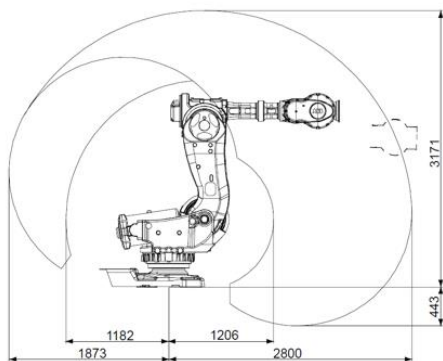


Fig.2.Spațiu de lucru ABB IRB 7600 340/2.8

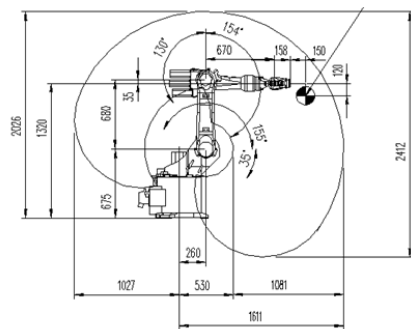


Fig.3.Spațiu de lucru KUKA KR 16-3

2 STADIUL ACTUAL

Până în prezent s-a realizat analiza cinematică completă a celor trei roboți. Deoarece nu am putut importa ciclograma de mișcare din programul CATIA V5 am fost nevoiți să realizăm diagrama în programul ANSYS Workbench V16.1. În ceea ce privește analiza tranzitorie s-a realizat mișcarea pentru o anumită secvență. De asemenea la robotul ABB IRB 7600 340/2.8 s-a realizat o analiză static structurală pentru baza acestuia în scopul verificării rezistenței acestuia.

¹ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

² Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

³ Specializarea Robotică, Facultatea IMST;

E-mail: teodor.turcu94@gmail.com;

2.1 DINAMICA SOLIDULUI RIGID

Rigid body dynamics (RBD) reprezintă studiul deplasării ansamblurilor în timpul funcționării, considerând toate componentele rigide. Toate restricțiile sunt definite în cuplurile cinematice, în care se blochează automat deplasările și rotațiile pe anumite axe. Fiecare cuplă cinematică asigură legătura dintre două componente. Cuplurile

cinematice sunt caracterizate de deplasările relative pe care le permit corpurilor pe care le conectează. Astfel, necunoscutele primare într-o analiză RBD sunt translațiile și rotațiile centrelor de greutate ale componentelor rigide și deplasările în cuplurile cinematice. Alte mărimi care se calculează în analiza RBD sunt forțele care se dezvoltă în cuple și se transmit între componente, spre deosebire de analiza structurală, unde se calculează deformațiile specifice și tensiunile.

Metoda Runge-Kutta este o procedură iterativă, aproximativă pentru rezolvarea numerică a ecuațiilor diferențiale. Metoda este precisă și se folosește pentru multe probleme practice. Aproximarea este mai bună decât cea oferită de metoda Euler. Ideea metodei este ca pentru rezolvare (găsirea soluției) să se aproximeze panta secantei, de la un increment de timp la altul. Panta secantei este aproximată ca media ponderată a tangențelor calculate pentru diferite puncte din incrementul de timp considerat, folosind aproximări succesive, cu precizie din ce în ce mai bună.

2.1.1 Importul geometriei și selectarea analizei „Rigid Dynamics”

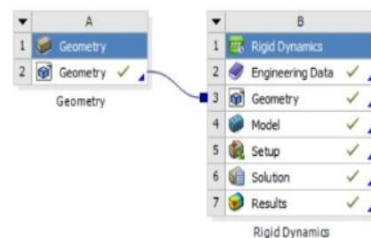


Fig.4.Alegere analiză

2.1.2 Definirea cuplurilor de rotație

S-a utilizat comanda “Body-Ground” pentru a fixa baza robotului de sol și comanda “Revolute” pentru cele 6 cupluri de rotație.

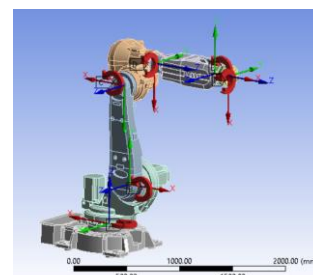


Fig.5.Definire Cuple - Robot ABB IRB 6620

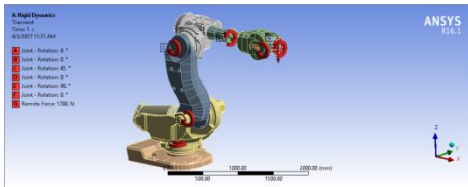


Fig.6.Definire Cuple - Robot 7600 340/2.8

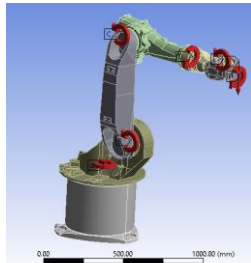


Fig.7.Definire Cuple - Robot KUKA KR 16-3

2.1.3 Realizarea ciclogramei de funcționare pentru fiecare cuplă

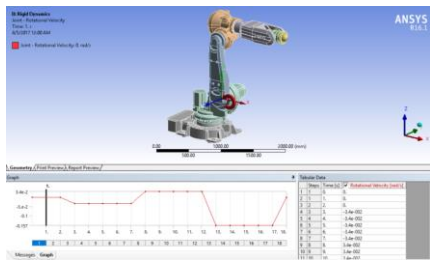


Fig.8.Ciclograma de funcționare - Robot ABB IRB 6620

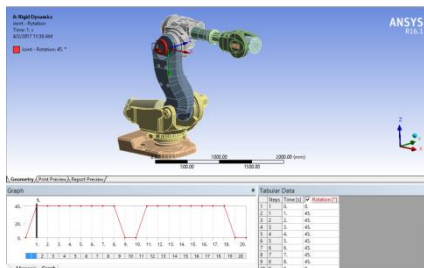


Fig.9. Ciclograma de funcționare - Robot 7600 340/2.8

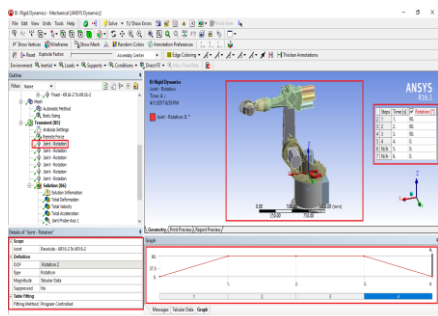


Fig.10. Ciclograma de funcționare - Robot KUKA KR 16-3

2.1.4 Rezultate Analiză Cinematică

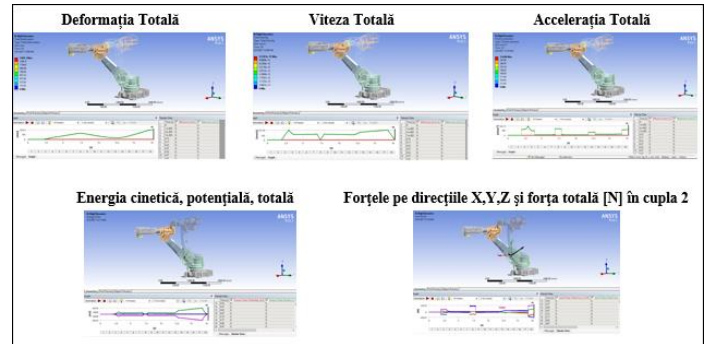


Fig.11.Rezultate - Robot ABB IRB 6620

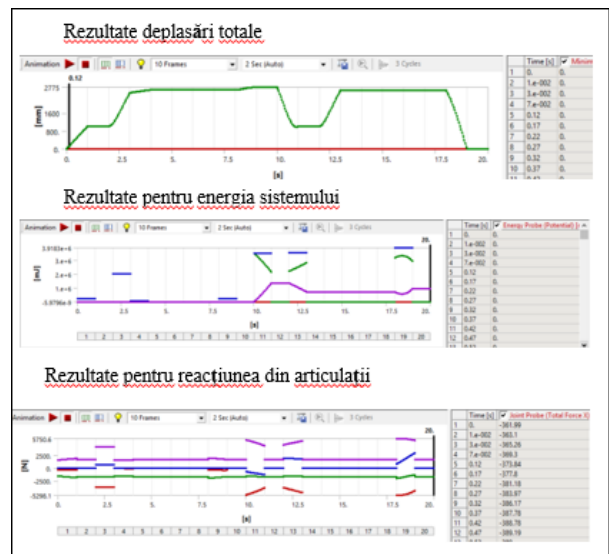


Fig.12.Rezultate - Robot 7600 340/2.8

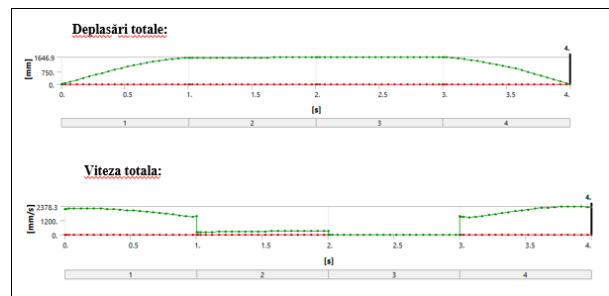


Fig.13.Rezultate - Robot KUKA KR 16-3

2.2 ANALIZA TRANZITORIE

Analiza tranzitorie este răspunsul dinamic al structurii la o forță variabilă în timp (răspuns în timp). Pentru acest tip de analiză este important efectul inerției și al amortizării.

Cazul în care aceste efecte trebuie considerate este când forța aplicată este de tip semnal treaptă sau impuls, adică atunci când variația forței în timp este bruscă, abruptă.

Un semnal ideal de tip impuls activează toate modurile de vibrație ale structurii

Semnalul ideal, aplicat instantaneu, de tip impuls nu este posibil de realizat numeric. De aceea, se aplică semnalul pe un interval de timp foarte scurt, dt, ca în Fig1,a.

După aplicarea acestui semnal se analizează răspunsul structurii pe intervalul de timp dorit. Mărimea duratei dt(2) pe care se aplică semnalul depinde de frecvența proprie fa structurii pe care dorim să o includem în răspunsul structural. Forța se aplică în trei etape, sau trei cazuri de încărcare succesive notate cu LS1 ÷LS3, ca în Fig.1,b. dt=1/20f

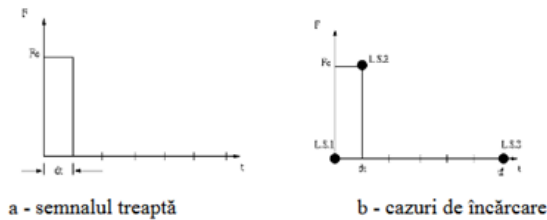


Fig.14. Aplicarea forței în analiza tranzitorie

Analiză tranzitorie (Transient analysis) determină răspunsul dinamic al structurii la o forță variabilă în timp (răspuns în timp). Rezultatele sunt: deplasări, deformații specifice, tensiuni – toate variabile în timp. Se observa evoluția mărimilor de răspuns pe durata funcționării, durată pe care se face simularea.

Ecuțiile diferențiale de mișcare, scrise pe baza principiului lui d’Alembert sunt:

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (1)$$

unde termenul $[M]\{\ddot{u}\}$ reprezintă forțele de inerție, $[C]\{\dot{u}\}$ - forțele de frecare, care sunt proporționale cu vitezele, $[K]\{u\}$ - forțele elastice, iar $\{F(t)\}$ - forțele exterioare, variabile în timp. $[M]$ reprezintă matricea maselor, sau matricea de inerție a întregii structuri, iar $[C]$ este matricea de amortizare. Matricile $[C]$, $[M]$ și $[K]$ se *assemblează* din matricile elementare.

2.2.1 Importul geometriei și selectarea analizei „Transient analysis”

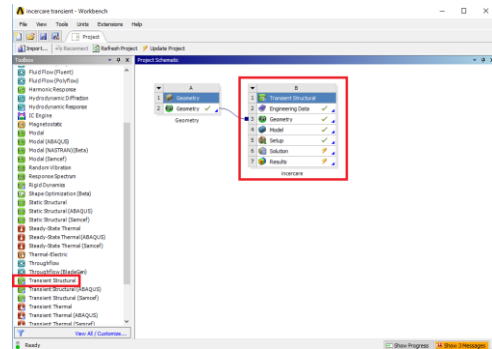


Fig.15. Alegere analiza

2.2.2 Definierea celor două structuri folosite pentru analiză



Fig.16. Definiere structuri - Robot KUKA KR 16-3



Fig.17. Definiere structuri - Robot ABB IRB 6620

2.2.3 Definierea contactelor

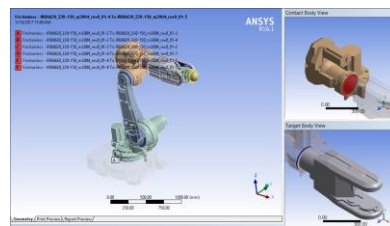


Fig.18. Definiere contacte - Robot ABB IRB 6620

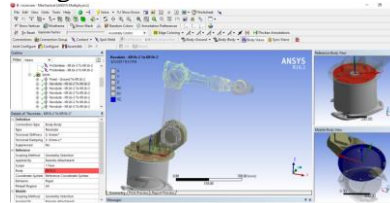


Fig.19. Definiere contacte - Robot KUKA KR 16-3

2.2.4 Definierea vitezelor de rotație ale cuplelor, parametrilor de rezolvare și forțelor

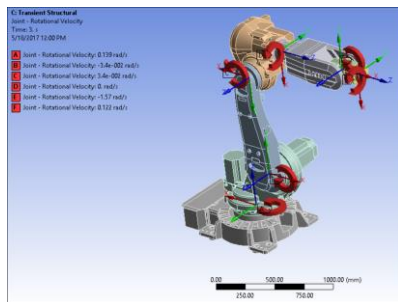


Fig.20. Definiere parametri - Robot ABB IRB 6620

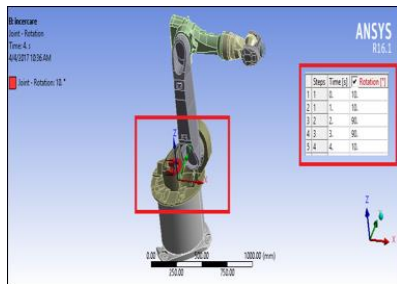


Fig.21. Definiere parametri - Robot KUKA KR 16-3

2.2.5 Rezultate Analiză Tranzitorie

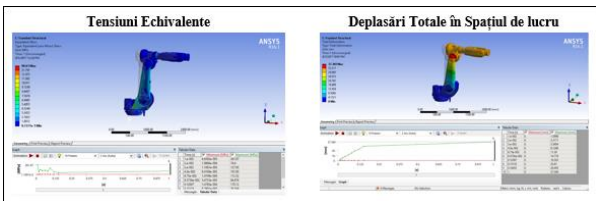


Fig.22. Rezultate - Robot ABB IRB 6620



Fig.23. Rezultate - Robot KUKA KR 16-3

2.3 ANALIZA STATIC STRUCTURALĂ

2.3.1 Importul geometriei și selectarea analizei „Static Structural”

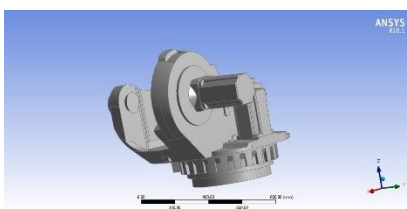


Fig.24. Geometrie - Robot 7600 340/2.8

2.3.2 Curățarea geometriei

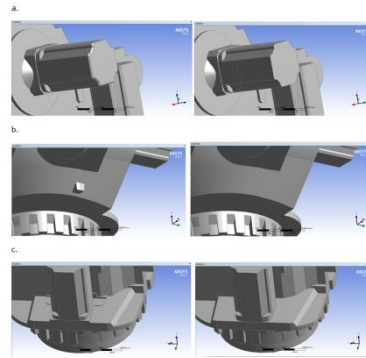


Fig.25. Curățarea geometriei - Robot 7600 340/2.8

2.3.3 Modelul curățat

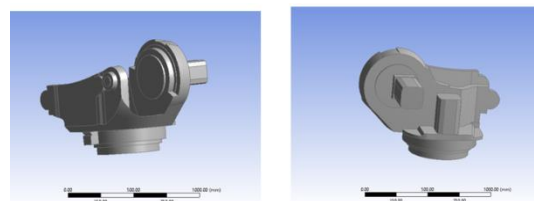


Fig.26. Model curățat - Robot 7600 340/2.8

2.3.4 Discretizarea modelului

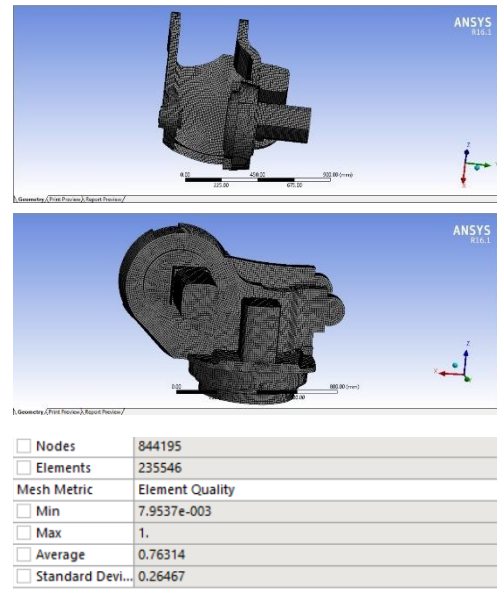


Fig.27. Discretizare model - Robot 7600 340/2.8

2.3.5 Realizare încărcări



Fig.28. Realizare încărcări - Robot 7600 340/2.8

2.3.6 Rezultate

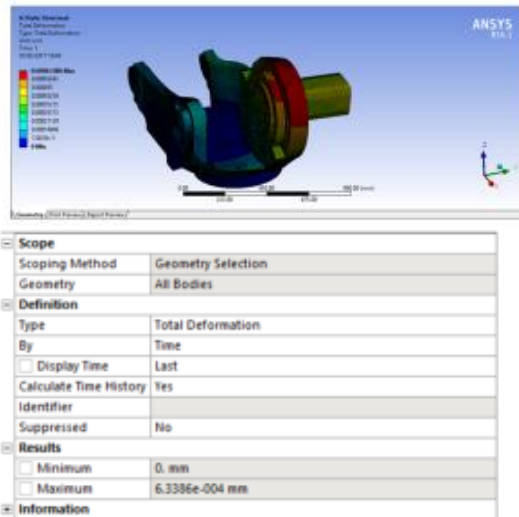


Fig.29.Deformații totale - Robot 7600 340/2.8

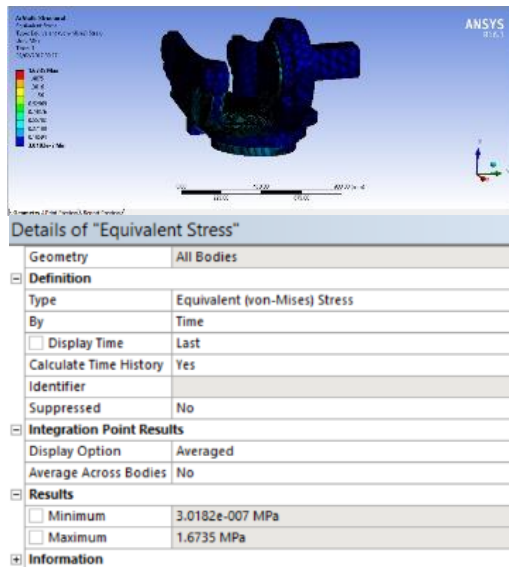


Fig.30.Tensiuni echivalente - Robot 7600 340/2.8

3 CONCLUZII

Avantajul analizei cinematice pentru structuri de roboți cu ANSYS Workbench constă în calculul caracteristicilor cinematice ale robotului și evaluarea comportării statice sau dinamice în condiții reale de solicitare și în timpul funcționării robotului la parametri dorți de proiectant.

Vizualizarea și animarea rezultatelor permite nu numai observarea comportării în timpul funcționării, evitarea coliziunilor și obținerea unor informații utile proiectantului în fazele de început ale proiectării, dar și faptul că toate rezultatele pot fi folosite pentru analize specifice cu programe specializate, cum ar fi ADAMS, TOSCA, sau alte solvere preferate de compania care dezvoltă produsul.

Noutate : În programul ANSYS a fost introdusă de curând analiza în regim tranzitoriu, astfel nimeni nu a mai făcut o astfel de analiză care să conțină și contacte.

Originalitate: Pe roboții aleși de noi pentru proiectul de licență nu a mai fost realizată niciun fel de analiză cu element finit.

În final putem afirma faptul că este un domeniu care ne interesează în robotică și care ne poate ajuta să determinăm corectitudinea alegerii robotilor pentru diversele operații pe care dorim să le realizăm.

Nu am reușit din păcate să ducem calculele până la sfârșit din cauza resurselor laptop-urilor care nu sunt îndeajuns de performante.

4 MULȚUMIRI

Prof. dr. ing. **Cristina PUPĂZĂ**
Prof. dr. ing. **Adrian NICOLESCU**

5 BIBLIOGRAFIE

- [1] Prof. Dr. Ing. Adrian Nicolescu - Note de curs
- [2]. Prof. Dr. Ing. Cristina Pupăză - Inginerie Asistată de Calculator 1 și 2, anul universitar 2016-2017
- [3]. Gwang-Jo Chung, Doo-Hyung Kim - Structural Analysis of 600Kg Heavy Duty Handling Robot
- [4]. www.wikipedia.org