

UN MODEL CU 17 GRADE DE LIBERTATE AL SISTEMULUI MÂNĂ-ANTEBRAȚ-BRAȚ

A 17 DOF MODEL OF HAND-FOREARM-ARM SYSTEM

**Prof. univ. dr. ing. Florin BAUSIC¹, Prof. univ. dr. ing. Cristian PAVEL²,
Asist. univ. dr. ing. Radu PANAITESCU_LIESS³, Filip GĂRDĂREANU⁴**

^{1,2,3}Facultatea de Utilaj Tehnologic, Universitatea Tehnică de Construcții București, Romania

⁴Student, anul II, Facultatea de Utilaj Tehnologic, UTCB, Romania

E-mail: ¹forin.bausic@utcb.ro, ²pcristianpavel@gmail.com, ³pa.radu@yahoo.com,

Rezumat: Prezenta lucrare propune un model cu 17 grade de libertate al sistemului mână-antebraț-braț (o extindere a modelului cu 15 grade de libertate prezentat în [1]). Sunt determinate frecvențele și pulsațiile proprii ale acestui model și un studiu comparativ al acestora cu cele calculate în articolele precedente pentru modelele cu 6, 8 și 15 grade de libertate prezentate în [1, 2, 3].

Cuvinte cheie: model dinamic, Matlab, frecvențe, pulsații

Abstract: This paper proposes a 17 DOF model of the hand-forearm-arm system (an extension of the model with 15 DOF introduced in [1]). We got frequencies and pulsations for this model and we have compared of them with those calculated in previous articles for models with 6, 8 and 15 DOF considered in [1, 2, 3].

Keywords: dynamic model, Matlab, frequencies, pulsations

1. INTRODUCERE

Pornind de la structura anatomică a mâinii umane (figura 1), am prezentat în câteva articole precedente, modele ale mâinii umane văzută atât ca sistem compus din 5 subsisteme independente (cele cinci degete – figura 2) [4], cât și ca sistem cu 6 și 15 grade de libertate (figurile 3 și 4) [1, 2]. De asemenea, adăugând sistemul antebrăț-braț la cel cu 6 grade de libertate, am obținut un model cu 8 grade de libertate al sistemului mână-antebrăț-braț (figura 5). [3]



Figura 1 – Mâna și sistemul mână-antebrăț-braț¹ [5]

¹ Imagini din experimentele realizate la Universitatea "Transilvania" din Brașov (arhiva personală – Panaitescu-Liess Radu)

Un model cu 17 grade de libertate al sistemului mână-antebraț-braț

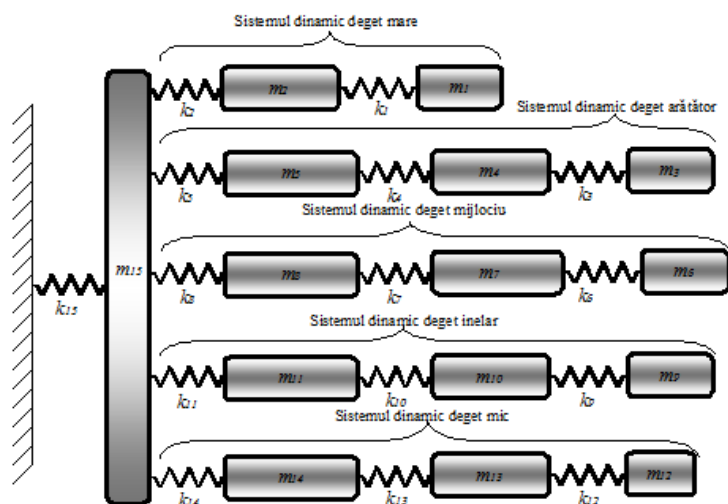


Figura 2 – Mâna umană alcătuită din cinci sisteme dinamice independente [4]

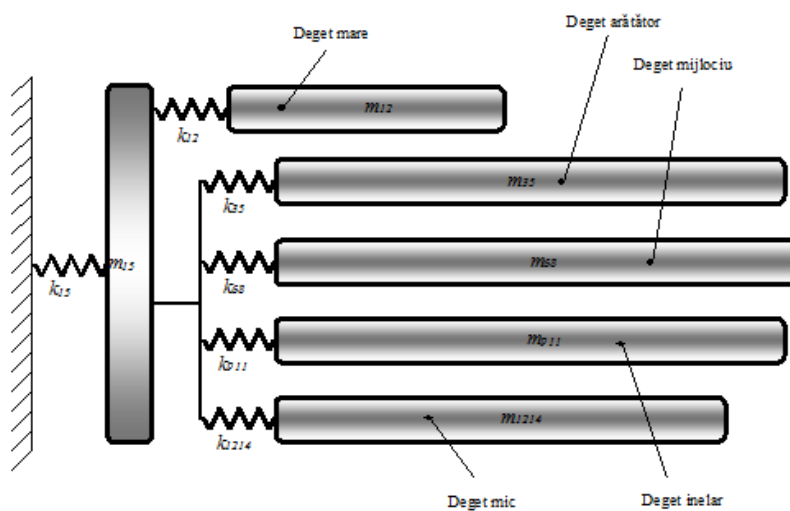


Figura 3 - Sistemul dinamic cu 6 grade de libertate al mâinii umane [2]

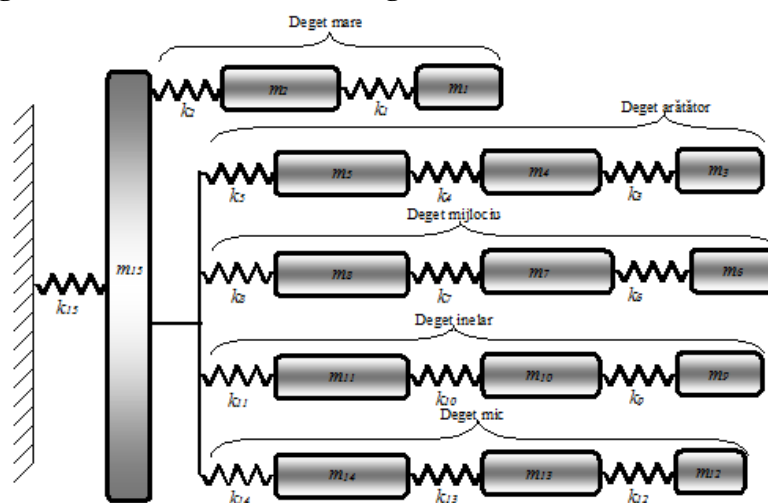


Figura 4 – Sistemul dinamic cu 15 grade de libertate al mâinii umane [1]

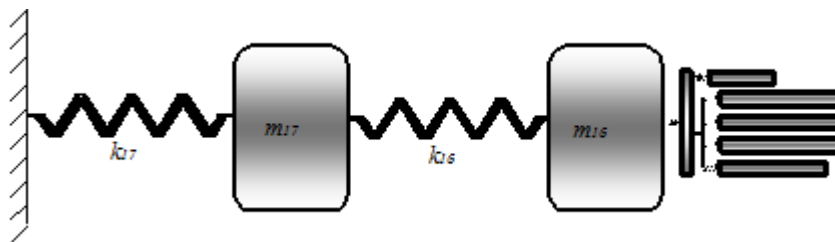


Figura 5 - Modelul dinamic cu 8 grade de libertate al sistemului mână-antebraț-braț [3]

În prezentul articol vom extinde modelul cu 15 grade de libertate al mâinii umane la un model cu 17 grade de libertate al sistemului mână-antebraț-braț.

2. DESCRIEREA MODELULUI

Așa cum am arătat mai sus, prin completarea modelului dinamic din [1] cu sistemul antebrăț-braț, obținem un model cu 17 grade de libertate (figura 6), de asemenea o simplificare a modelului Sinha și Shanker din 2004. [6]

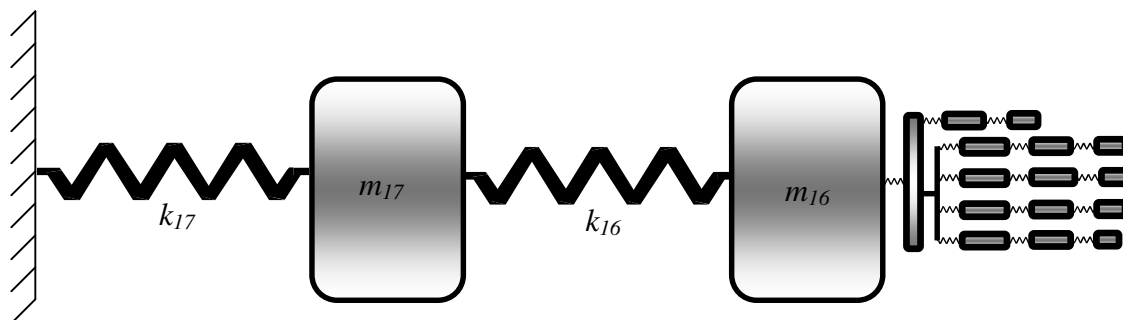


Figura 6 - Modelul dinamic cu 17 grade de libertate al sistemului mână-antebraț-braț [5]

Utilizând datele experimentale pentru mase și rigidități din tabelul 1, scriind matricele de inerție și de rigiditate (relațiile 2.1 și 2.2), putem determina pulsațiile și frecvențele proprii pentru acest model cu 17 grade de libertate din figura 6:

Tabel 1 Valorile măsurate experimental pentru mase și rigidități [6]

	1	2	3	4	5	6	7	8	
<i>m</i> [kg]	0,014	0,023	0,008	0,012	0,026	0,01	0,015	0,029	
<i>k</i> [kN/m]	11,59	5,527	10,89	9,713	5,431	10,94	9,661	5,169	
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>m</i> [kg]	0,007	0,01	0,023	0,006	0,007	0,016	0,213	1,000	1,58
<i>k</i> [kN/m]	9,146	8,19	4,804	2,994	7,761	4,675	15,43	16,33	41,22

Un model cu 17 grade de libertate al sistemului mână-antebraț-braț

$$[M]= \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & m_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{14} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{15} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{16} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & m_{17} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

$$[K]= \begin{bmatrix} k_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2 \cdot k_1 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_3+k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_4 & k_4+k_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,5 \cdot k_5 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_6 & -k_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_6+k_7 & -k_7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_7 & k_7+k_8 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,5 \cdot k_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_9 & -k_9 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_9+k_{10} & -k_{10} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{10} & k_{10}+k_{11} & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,5 \cdot k_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{12} & -k_{12} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & k_{12}+k_{13} & -k_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{13} & k_{13}+k_{14} & 0 & -0,5 \cdot k_{14} & -k_{15} & 0 \\ & & & & & & & & & & & & & & k_{15}+4 \cdot k_1 + & & & \\ -2 \cdot k_1 & 0 & 0 & 0 & -0,5 \cdot k_5 & 0 & 0 & -0,5 \cdot k_8 & 0 & 0 & -0,5 \cdot k_{11} & 0 & 0 & -0,5 \cdot k_{14} & +0,5 \cdot (k_1+k_{15}+4 \cdot k_1 + & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & & & & & & +0,5 \cdot (k_1+k_5+k_8+k_{11}+k_{14})k_5 + & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & +k_8+k_{11}+k_{14}) & & & \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_{15} & k_{15}+k_{16} & -k_{16} \\ & & & & & & & & & & & & & & 0 & -k_{16} & k_{16}+k_{17} \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

3. MODUL DE CALCUL

S-a utilizat software-ul Matlab, scriindu-se comenzile în mod asemănător celor prezentat în [1], dar completate pentru un sistem cu 17 grade de libertate. După rulare, rezultatele obținute au fost următoarele:

Pulsații proprii: p1=119,9153 [rad/s], p2=207,3195 [rad/s], p3=330,7308 [rad/s],
 p4=490,2085 [rad/s], p5=558,5043 [rad/s], p6=577,9864 [rad/s], p7=596,1534 [rad/s],
 p8=603,6852 [rad/s], p9=706,3993 [rad/s], p10=1039,8112 [rad/s], p11=1045,9445 [rad/s],
 p12=1143,0536 [rad/s], p13=1166,7262 [rad/s], p14=1255,1042 [rad/s],
 p15=1392,7796 [rad/s], p16=1394,5014 [rad/s], p17=1408,155 [rad/s] **Frecvențe proprii:**
 f1=19,0851 [Hz], f2=32,9959 [Hz], f3=52,6374 [Hz], f4=78,0191 [Hz], f5=88,8887 [Hz],
 f6=91,9894 [Hz], f7=94,8808 [Hz], f8=96,0795 [Hz], f9=112,4269 [Hz], f10=165,4911 [Hz],
 f11=166,4672 [Hz], f12=181,9226 [Hz], f13=185,6902 [Hz], f14=199,756 [Hz],
 f15=221,6678 [Hz], f16=221,9418 [Hz], f17=224,1148 [Hz]

4. CONCLUZII

Ca și în cazul șirurile frecvențelor obținute pentru modelele cu 6 și 8 grade de libertate, se observă aceeași ”migrare” a acestor valori de la un corp la altul atunci când se mărește numărul gradelor de libertate (și numărul de mase ce intră în componența modelului). [3, 5]

15 grade

f1=50,0642 [Hz]
 f2=78,0191 [Hz]
 f3=88,8857 [Hz]
 f4=91,9857 [Hz]
 f5=94,8796 [Hz]
 f6=96,0724 [Hz]
 f7=112,4269 [Hz]
 f8=165,4697 [Hz]
 f9=166,4672 [Hz]
 f10=181,9226 [Hz]
 f11=185,6902 [Hz]
 f12=199,756 [Hz]
 f13=221,6678 [Hz]
 f14=221,9418 [Hz]
 f15=224,1148 [Hz]

17 grade

f1=19,0851 [Hz]
 f2=32,9959 [Hz]
 f3=52,6374 [Hz]
 f4=78,0191 [Hz]
 f5=88,8887 [Hz]
 f6=91,9894 [Hz]
 f7=94,8808 [Hz]
 f8=96,0795 [Hz]
 f9=112,4269 [Hz]
 f10=165,4911 [Hz]
 f11=166,4672 [Hz]
 f12=181,9226 [Hz]
 f13=185,6902 [Hz]
 f14=199,756 [Hz]
 f15=221,6678 [Hz]
 f16=221,9418 [Hz]
 f17=224,1148 [Hz]

BIBLIOGRAFIE

- [1] **Bausic, F., Pavel, C., Panaitescu-Liess, R.** - *Considerații asupra unui model dinamic cu 15 grade de libertate al mâinii umane*, Al XIX-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, SINUC 2013, Secția I-Cercetări fundamentale și aplicative în domeniul ingineriei mecanice, 12-13 decembrie 2013, București, România. CD-ROM Edition, ISBN-978-973-100-195-1;
- [2] **Panaitescu-Liess, R., Bausic, F.** - *A 6 DOF human hand dynamic model*, The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics - SISOM 2013, May 21-22, Bucharest, Romania. CD-ROM Edition;
- [3] **Bausic, F., Panaitescu-Liess, R.** - *A 8 DOF hand-arm dynamic model*, The Annual Symposium of the Institute of Solid Mechanics - SISOM 2013, May 21-22, Bucharest, Romania. CD-ROM Edition;
- [4] **Bausic, F., Panaitescu-Liess, R.** - *Modelarea dinamică a mâinii umane*, Al XVIII-lea Simpozion Național de Utilaje pentru Construcții, SINUC 2012, Secția I-Cercetări fundamentale și aplicative în domeniul ingineriei mecanice, 20-21 decembrie 2012, București, România. CD-ROM Edition, ISBN-978-973-100-195-1;
- [5] **Panaitescu-Liess, R.** - *Modelarea biomecanică a organismului uman sub acțiunea vibrațiilor*, Teză de doctorat, decembrie 2013;
- [6] **K.K. Sinha, A. Shanker** - *A comparison of anthropomorphic model responses of human hand-arm system*, 10th International Conference on Hand-Arm Vibration 7-11 June 2004 Flamingo Hilton Resort, Las Vegas, Nevada, USA, 209-219.